

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря Сікорського»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
АПАРАТУРИ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Лисенко О.М.

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ 15 ” червня 2020р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код та назва напряму підготовки або спеціальності)

на тему: Блок відображення даних з відеокамери

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-61

Пономаренко Богдан Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник доц. Кучернюк П.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент проф. Ігн. доц. К.Т.М. Цурік Р.Р.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

П.В.

(підпис)

(підпис)

Р.Р.

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент П.В.
(підпис)

Київ - 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

Факультет електроніки

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

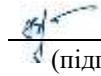
Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Лисенко О.М.



(підпис)

(прізвище ініціали)

« 17 » _____ лютого 20 20р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Пономаренку Богдану Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Блок відображення даних з відеокамери
керівник проєкту Кучернюк Павло Валентинович, доцент
затверджені наказом по університету від 25.05.2020 року № 1196-с
2. Термін подання студентом проєкту 13 червня 2020 року
3. Вихідні дані до проєкту Пристрій являє собою портативну моноблочну
конструкцію, що містить друкований вузол з роз'ємом для акумулятора
Габаритні розміри – не більше 150x100 мм, маса – не більше 100 г. Час
напрацювання на відмову – не менше 30000 годин. Живлення пристрою –
5 В від акумулятора або батареї.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- аналіз існуючих рішень та формулювання технічного завдання;
- аналіз принципу роботи камери;
- аналіз існуючих типів цифрових відеокамер. Патентний пошук;
- схемотехнічне проектування та розробка структурної схеми електричної структурної;
- розробка структурної схеми та принцип роботи блоку відображення даних;
- розробка схеми електричної принципової та вибір елементної бази;
- розробка і розрахунок схеми електричної принципової;
- конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ;
- електричний розрахунок друкованої плати;
- розрахунок надійності друкованої плати;
- розрахунок віброміцності друкованої плати;
- розрахунок теплового режиму стабілізатора напруги;
- вибір типу та матеріалу друкованої плати;
- вибір класу точності друкованої плати;
- вибір методу виготовлення друкованої плати;
- розміщення компонентів та трасування друкованої плати ;
- проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer;
- проектування програмного забезпечення;
- висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):

- схема електрична принципова – А2;
- друкована плата – А2;
- складальне креслення друкованої плати – А2.

6. Дата видачі завдання 09.03.20

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання Дипломного проєкту	Термін виконання Етапів проєкту	Примітка
1	Розробка технічного завдання	09.03.20-17.03.20	виконано
2	Аналіз технічного завдання	17.03.20-4.04.20	виконано
3	Схемотехнічне проєктування	4.04.20-17.04.20	виконано
4	Вибір елементної бази та друкованої плати	17.04.20-21.04.20	виконано
5	Виконання креслення схеми електричної принципової	21.04.20-30.04.20	виконано
6	Проектування у Altium Designer	30.04.20-8.05.20	виконано
7	Конструкторсько-технологічні розрахунки	8.05.20-13.05.20	виконано
8	Електричний розрахунок друкованої плати	13.05.20-16.05.20	виконано
9	Виконання креслення друкованої плати	16.05.20-18.05.20	виконано
10	Виконання складального креслення друкованого вузла	18.05.20-20.05.20	виконано
11	Оформлення пояснювальної записки	20.05.20-8.06.20	виконано

Студент _____

(підпис)

Пономаренко Б.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту _____

(підпис)

Кучернюк П.В.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Роботу викладено на 77 сторінках, вона містить 5 розділів, 13 ілюстрацій, 22 таблиці та 32 джерела в переліку посилань.

Метою даної роботи є розробка блоку відображення даних з відеокамери, який міг би показувати зображення, яке поступає на модуль відеокамери, в реальному часі та потребував би мінімального налаштування від користувача.

У дипломному проєкті виконано патентний пошук існуючих готових рішень для різних типів відеокамер, проаналізовано принцип їх роботи. Створено структурну схему пристрою, що розробляється, схему електричну принципову, проведено вибір елементної бази, а також розрахунків схеми, які підтверджують її працездатність. Виконано проєктування друкованого вузла, зроблено конструкторсько-технологічні й електричні розрахунки, що підтверджують правильність рішень, прийнятих в ході розробки. Наведено алгоритм роботи програмного забезпечення для блоку обробки даних, основних модулів схеми.

Також здійснено розробку комплекту конструкторської документації, необхідної для виготовлення пристрою.

Підготовлено статтю по темі дипломного проєкту для науково-технічної конференції молодих вчених «Електроніка – 2020».

Ключові слова: відеокамера, мікроконтролер, передача даних, I2C, DMA, зображення.

Summary

The work is presented on 77 pages, it contains 5 sections, 13 illustrations, 22 tables and 32 sources in the list of references.

The purpose of this work is to develop a unit for displaying data from the video camera module, which would require minimal adjustment for the user, and could show the image that enters the video camera module in real time.

In the diploma project the patent search of the existing solutions for different types of video cameras is completed and analyzed their principle of work. The structural scheme of the developed device, the electric scheme are developed, the choice of element base, and calculations of the scheme, that confirm its working efficiency are carried out as well. The design of the printed circuit board is performed, design-technological and electrical calculations are made, which confirm its accuracy of decisions. Also, the algorithm of software for the data processing unit, the main modules of the scheme are created.

A set of design documentation required for manufacturing this device was also developed.

An article, that concerns the topic of the diploma project for the scientific and technical conference of young scientists "Electronics - 2020" was prepared.

Keywords: video camera, microcontroller, data transmission, I2C, DMA, image.





Пояснювальна записка
до дипломного проєкту

на тему: **Блок відображення даних з відеокамери**

Київ – 2020 року

Зміст

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ	3
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ	
ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	7
1.1 Аналіз принципу роботи камери.....	7
1.2 Аналіз існуючих типів цифрових відеокамер. Патентний пошук.....	11
Висновки до розділу.....	13
РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СХЕМИ	
ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ.....	15
2.1 Розробка структурної схеми та принцип роботи блоку відображення даних.....	15
2.2 Розробка схеми електричної принципової та вибір елементної бази.....	17
2.3 Розробка і розрахунок схеми електричної принципової.....	25
Висновки до розділу.....	29
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ	
КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ.....	30
3.1 Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ.....	30
3.2 Електричний розрахунок друкованої плати.....	36
3.3 Розрахунок надійності друкованого вузла.....	40
3.4 Розрахунок віброміцності друкованого вузла.....	45
3.5 Розрахунок теплового режиму стабілізатора напруги.....	50
Висновки до розділу.....	52
РОЗДІЛ 4. ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА.....	54
4.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати.....	54
4.2 Вибір класу точності друкованої плати.....	55
4.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати.....	57

					ДК61.463121.001 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Б.А. Понамаренко			Блок відображення даних з відеокамери Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		О.І. Лисенко				0	1	77
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕ/І, ДК-61		
Н. Контр.		О.І. Лисенко						
Затвердив		П.В. Кучернюк						

4.4	Розміщення компонентів та трасування друкованої плати.....	58
4.5	Проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer.....	61
	Висновки до розділу.....	63
	РОЗДІЛ 5. ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	64
5.1	Загальний алгоритм обробки даних.....	64
5.2	Налаштування та алгоритм роботи мікроконтролера.....	65
5.3	Алгоритм роботи модуля відеокамери камери.....	69
5.4	Алгоритм роботи модуля Wi-Fi.....	69
	Висновки до розділу.....	71
	ВИСНОВКИ.....	72
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	74

Додаток А – Технічне завдання на проектування

Додаток Б – Програма підключення модулю ESP-01 до веб-серверу

Додаток В – Програма ініціалізації шини SCCB

Додаток Г – Програма налаштування мікроконтролера та ініціалізації інтерфейсу DCM1

Додаток Д – Програма ініціалізації інтерфейсу UART

Додаток Е – Стаття для Міжнародної науково-технічної XIII конференції молодих вчених, «Електроніка-2020», підсекція «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем»

Додаток Є – Блок відображення даних з відеокамери. Перелік елементів

Додаток Ж – Плата. Специфікація

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДП – друкована плата

ДМ – друкований монтаж

ДВ – друкований вузол

КЕ – конструктивні елементи

КМ – контактний майданчик

МК – мікроконтролер

ПМ – посадкове місце

ТЗ – технічне завдання

УГП – умовно-графічне позначення

DMA – Direct Memory Access

UART – Universal Asynchronous Receiver Transmitter

I2C – Inter-Integrated Circuit

DCMI – Digital camera interface

SCCB – Serial Cameral Control Bus

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						3
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Відеокамера – електронний пристрій, який надає можливість отримувати образи оптичних об'єктів або ж зображення під час руху за допомогою світлочутливого елемента. Пристрій дозволяє зчитувати чітке зображення у високій якості. Такі корисні властивості дозволили відеокамерам знайти широке застосування у багатьох сферах життя – телебаченні, системах відеоспостереження, розпізнавання об'єктів, а також відеозв'язку.

У світі давно стоїть потреба у пристроях, які зможуть забезпечити необхідність обробки та використання зображень, що отримуються з різних апаратних засобів. Для цього на початку ХХ століття були створені перші примітивні відеокамери (диск Ніпкова). Зрозумівши, що в даній сфері є великий потенціал, почалася розробка більш сучасних пристроїв, і в підсумку сучасні відеокамери відзначаються високою якістю та є менш складними у використанні.

Не зважаючи на великі успіхи в історії розвитку відеокамер, у наш час існує проблема створення відеокамер, які б поєднували у собі малі розміри, високу надійність та якість під час роботи та низьку собівартість.

Для вирішення задач обробки зображень у різноманітних сферах застосування (від найпростіших систем відеоспостереження до складних системи розпізнавання об'єктів та жестів) необхідно, перш за все, отримати відеопотік з відповідних апаратних засобів. Для формування відеопотоку та передачі його для подальшої обробки чи візуалізації існує велика кількість аналогових та цифрових відеокамер. Сучасні цифрові камери зазвичай мають прийомо-передавач для підключення до мереж передачі даних (3G або 4G, Wi-Fi, Ethernet), підтримують стек протоколів TCP/IP, за що отримали назву IP-відеокамер. Перевагами IP-відеокамер є висока якість відтворюваного зображення, компактність, підтримка віддаленого підключення для перегляду відеопотоку шляхом реалізації в їх програмній частині веб-серверу. Проте дані камери мають і ряд недоліків – висока ціна, апаратне зависання. Частини цих

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

недоліків позбавлені достатньо прості аналогові відеокамери. Але їх функціонал досить обмежений (зазвичай, забезпечують тільки передачу відеосигналу).

У рамках розробки дипломного проєкту розглянуті та проаналізовані уже існуючі рішення (на основі аналогових та цифрових камер), а також алгоритми розробки цих рішень.

Постає задача розробки блоку відображення даних з відеокамери, який складався би з якомога меншої кількості елементів, був досить простим у налаштуванні, а також дозволив би реалізувати функціонал для відображення даних з модуля відеокамери з мінімальною затримкою, характерний для IP-відеокамер.

Для вирішення цих завдань проаналізовані підходи та методи побудови подібних пристроїв. З аналізу випливає, що є актуальною проблема розробки власного пристрою з використанням основних методів створення подібної апаратури. В ході виконання дипломного проєкту необхідно вирішити задачі вибору найбільш оптимального типу камер, здійснити схемотехнічне проєктування, а також реалізувати конструкторсько-технологічні розрахунки схеми пристрою, здійснити проєктування друкованого вузлу, розробити алгоритм роботи програмного забезпечення.

В дипломній роботі запропоновано метод реалізації блоку відображення даних з відеокамери, який дозволяє зчитувати зображення з модуля відеокамери, і відображати його користувачу на веб-сервері.

На основі проведеного аналізу сформовано технічне завдання, наведене в додатку А.

У першому розділі сформульовано принцип роботи модуля цифрової відеокамери, проведено патентний пошук, в ході якого проведено аналіз пошуку та прийняття рішення стосовно предмету розробки дипломного проєкту.

У другому розділі розроблено функціональну схему пристрою з наведенням інформації щодо призначення кожного блоку. Також проведено

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

вибір елементної бази пристрою. На основі функціональної схеми та елементної бази розроблено схему електричну принципову, для якої були здійснені розрахунки, необхідні для підтвердження правильності схемотехнічних рішень при проєктуванні друкованого вузла, елементів схеми електричної принципової.

У третьому розділі проведено розрахунки, що підтверджують конструкторсько-технологічні рішення, прийняті в ході виконання проєкту.

У четвертому розділі здійснено обчислення та проведено аргументацію вибору параметрів друкованого вузла.

У п'ятому розділі наведено алгоритм роботи програмного забезпечення мікроконтролера та основних модулів пристрою, що проєктується.

На тему дипломного проєкту підготовлено статтю з виступом на Міжнародній науково-технічній XIII конференції молодих вчених, "Електроніка-2020". Матеріали статті наведені в додатку Е.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Як уже згадано вище, відеокамера – електронний пристрій, який надає можливість отримувати образи оптичних об’єктів або ж зображення під час руху за допомогою світлочутливого елемента. Пристрій дозволяє зчитувати чітке зображення у високій якості. Такі корисні властивості дозволили відеокамерам знайти широке застосування у багатьох сферах життя – телебаченні, системах відеоспостереження, розпізнавання об’єктів, а також для відеозв’язку.

1.1 Аналіз принципу роботи камери

Обраний в ТЗ модуль відеокамери OV7670 підтримується багатьма серіями мікроконтролерів, для яких створено спеціальний інтерфейс передачі даних DCMI. Згідно з офіційною документацією, схема підключення відеокамери до мікроконтролер зображена на рисунку 1.1 [1].

Також необхідно навести призначення кожного з виводів модуля відеокамери:

- 3.3 V, GND – ланцюги живлення;
- SIOC – лінія тактування модуля камери;
- SIOD – послідовна лінія передачі інформаційного сигналу;
- VSYNC – вертикальна синхронізація кадру;
- HREF – горизонтальна синхронізація кадру;
- PCLK – тактовий синхроімпульс видачі байту з паралельного порту;
- XCLK – вхід для зовнішнього тактового сигналу;
- D[7..0] – 8-ми бітна паралельна шина даних для передачі даних про піксель;
- RESET – вивід апаратного скидання камери;
- PWDN – вивід апаратного увімкнення/вимкнення камери.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

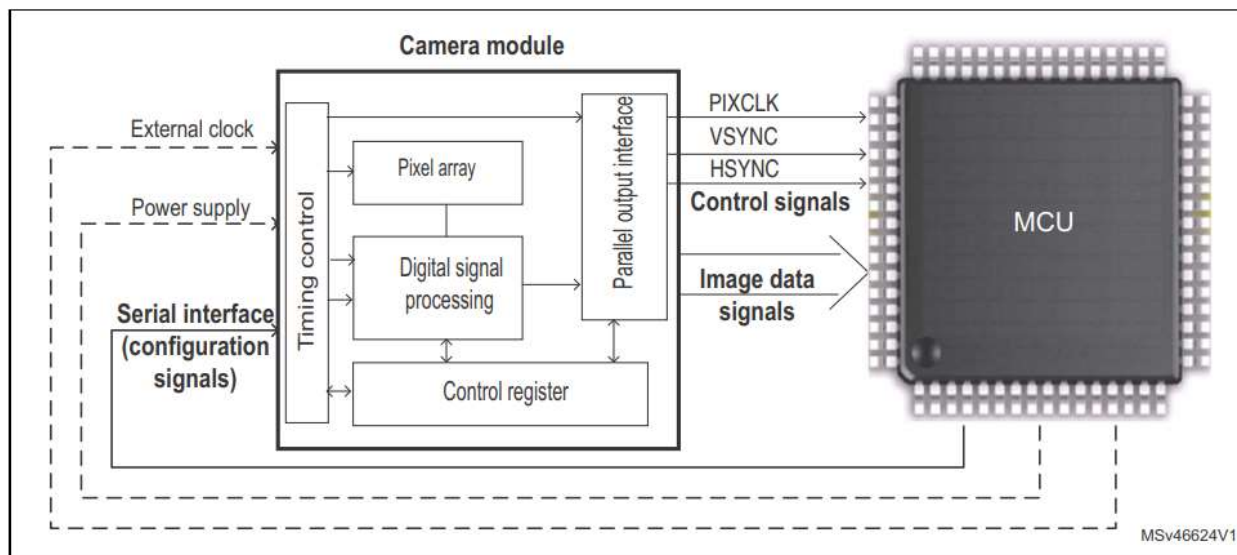


Рисунок 1.1 – Схема підключення модуля відеокamera OV7670 до мікроконтролера STM32F4

Модуль відеокamera OV7670 підтримує декілька режимів роботи та ряд налаштувань. Наприклад, можна використати різні формати кадрів, такі як: VGA (640×480 пікселів), QVGA (320×240 пікселів), CIF (352×240 пікселів), QCIF (176×144 пікселів). Відповідно, різні роздільні здатності зображення вимагатимуть і різної швидкості передачі відеокadrів. В даній роботі використано формат кадру VGA з максимальною роздільною здатністю 640 x 480 пікселів, для якої максимальна швидкість відтворення зображення може досягати до 30 кадрів в секунду за певних умов. Згідно з розрахунками пропускної здатності інтерфейсу UART для модуля Wi-Fi, проведеними в розділі 5, швидкості відтворення зображення в 30 кадрів в секунду можна досягти лише за умови передачі зображення з дуже низькою роздільною здатністю, або ж за допомогою зміни формату кодування. В підсумку, для кадру формату 640x480 пікселів було здійснено стиснення до 160x120 пікселів, використовуючи потужності мікроконтролера. Це дало змогу досягти швидкості відтворення зображення в 15 кадрів в секунду, що є досить непоганим результатом.

Виробником модуля OV7670 передбачена можливість його підключення до мікроконтролера по інтерфейсу I2C. Інтерфейс I2C дозволяє зчитувати та записувати дані тільки з регістрів управління і контролю. Це впливає не тільки на захоплення кадрів, але і на деякі параметри зображення. Наприклад,

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		8

яскравість при автопідстроюванні буде змінюватися з кожним кадром і, якщо кадри будуть зчитуватися на швидкості 0,2 кадрів в секунду, то нормальний рівень яскравості встановиться тільки через декілька хвилин.

Як можна бачити з рисунка 1.1, модуль використовує синхроімпульси по кадрах VSYNC, по рядках HREF та по пікселях. Дані кожного з пікселів, які являють собою інформацію про його колір передаються по восьмирозрядному паралельному інтерфейсу D[7..0], який при цьому тактується по XCLK.

Варто зазначити, що розмір одного пікселя може варіюватися залежно від кодування – дані про піксель зберігаються у двох байтах. Кодування RGB представлено у трьох варіантах – RGB565, RGB555, RGB444. Цифри означають кількість біт, виділених на червоний, синій та зелений кольори. При передачі одного пікселя через восьмирозрядний паралельний порт D[7..0] розстановка кодівих бітів зображена на рисунках 1.2-1.4. Для подальшої реалізації прототипу пристрою будемо використовувати метод кодування RGB565 та роздільну здатність 640×480 пікселів (VGA) [5].

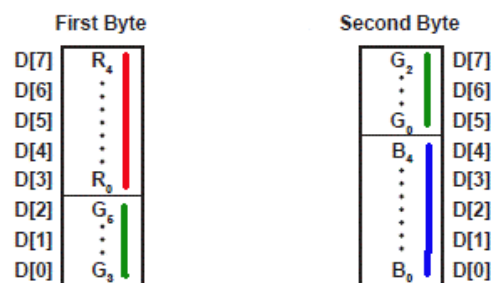


Рисунок 1.2 – Розстановка бітів для RGB565

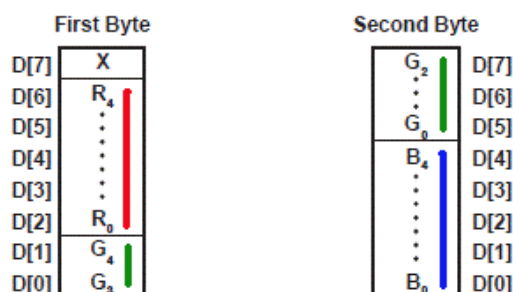


Рисунок 1.3 – Розстановка бітів для RGB555

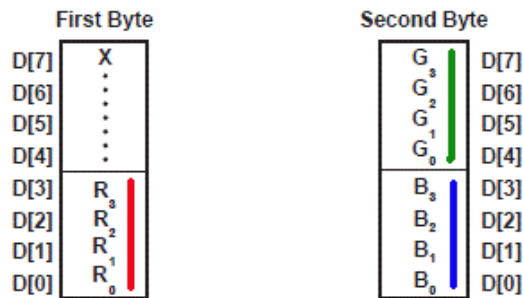


Рисунок 1.4 – Розстановка бітів для RGB444

Вибравши формат кадру VGA (640 x 480) згідно з вимогами ТЗ, модуль відеокамери буде формувати зображення з максимальною для себе роздільною здатністю зі швидкістю відтворення 15 кадрів в секунду. Розрахунок для швидкості відтворення наведено в розділі 5.

Y'CbCr – ще один формат кодування даних про колір пікселя, де: Y' – показник яскравості зображення, Cb і Cr - синій та червоний компоненти. Символ Y' відрізняється від символ Y, яким позначають яскравість без спотворень. Апостроф означає, що інтенсивність світла кодується нелінійно за допомогою гамма-корекції.

Замість використання трьох основних кольорів, як у форматі RGB (червоний, зелений, синій), цей формат використовує всього два, проте він є не досить ефективним для зберігання і передачі зображень, так як він містить надмірну кількість відтінків, і, відповідно, використовує велику частину місця в пам'яті. Однак, варто зазначити, що перехід в систему Y'CbCr дозволяє передати інформацію про яскравість з повною роздільною здатністю.

Після надходження на камеру сигналу про необхідність початку передачі даних через інтерфейс SCCB, камера починає передавати дані про зображення керуючому пристрою, надсилаючи дані на інтерфейс DCMІ в керуючому пристрої. Здійснюється відправка таких сигналів як VSYNC, HREF та PCLK, які несуть в собі інформація про синхронізацію по кадру та рядку, а також тактовий синхроімпульс. Інформація про колір зображення передається послідовною шиною D[7..0].

1.2 Аналіз існуючих типів цифрових відеокамер. Патентний пошук

Отже, на ринку представлені два основні типи відеокамер – аналогові та цифрові. Для кожного з типів камер був проведений патентний пошук.

Для цифрової відеокамери розглянуто патент US 20150125124 A1 «Digital video camera». Авторами даного патенту є Dozier; Charles W [6].

Цифровий відеореєстратор, розміщений в корпусі, з'єднаний з цифровою відеокамерою і записує зображення, отримані з камери. Мережевий комутатор, розташований у корпусі, забезпечує щонайменше одне мережеве з'єднання, процесор, пристосований для роботи операційної системи та управління цифровою відеокамерою, цифровим відеореєстратором та мережевим комутатором, також розміщений у корпусі. Мережеві порти можуть комутуватися, вибірково забезпечуючи провідну та комутаційну комунікацію. Процесор може бути адаптований для забезпечення Інтернет-протоколу, інтерфейс на основі доступу до відеореєстратора камери та надання аналітики.

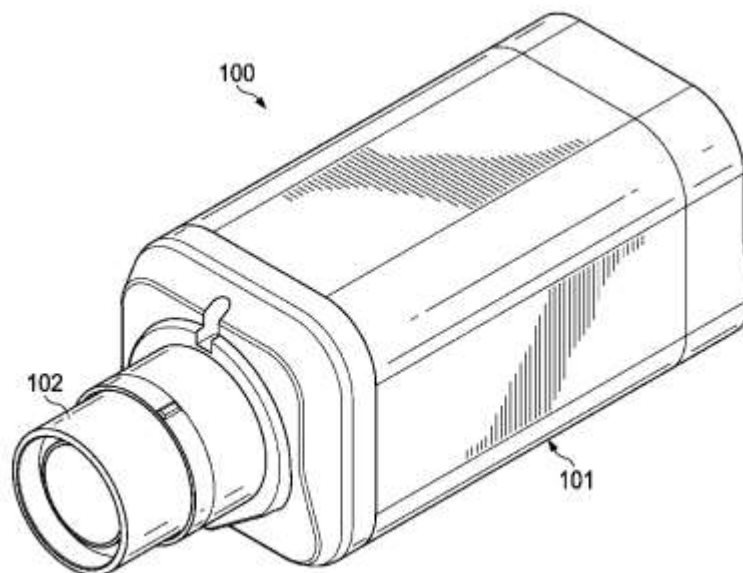


Рисунок 1.5 – Пристрій запатентований під номером US 20150125124 A1

Дослідивши цей патент, можна зробити висновки про його переваги та недоліки.

До основних переваг можна віднести:

- сучасність розроблюваного пристрою;
- забезпечення різних інтерфейсів для передачі даних користувачу;

До основних недоліків можна віднести:

- габарити пристрою;
- використання дорогих компонентів елементної бази.

Для аналогової відеокамери розглянуто патент US 20020118293 A1 «Dynamic range video recording and playback system and method». Авторами даного патенту є Hori, Koichiro, Hui; Michael [7].

В даному патенті описаний удосконалений спосіб та система для зйомки та відображення серії послідовних зображень. В пристрої використовуються цифровий комп'ютер та програмне забезпечення для генерування та зберігання цифрових даних. Патент містить опис принципу роботи такої системи та принципову схему роботи.

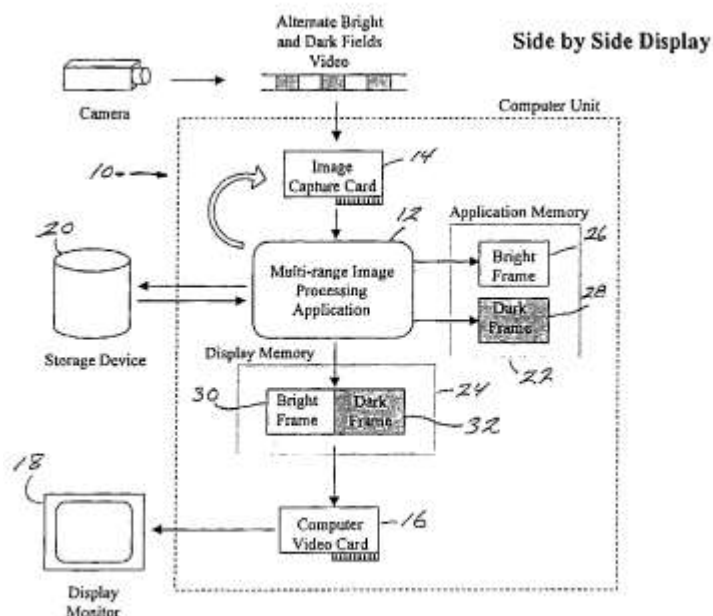


Рисунок 1.6 – Пристрій запатентований під номером US 20020118293 A1

До недоліків даного патенту можна віднести його застарілість, оскільки він був запатентований у 2002 році, відповідно елементна база приладу також

вважається застарілою. До переваг можна віднести досить детальний опис принципу роботи такої системи, який може бути використаний і у наш час.

Дослідивши ці варіанти патентів, вирішено створити пристрій, який має власну структуру та новітню елементну базу.

Метою виконання дипломного проєкту є розробка блоку відображення даних з відеокамери з налаштуванням формату кадру VGA, який мав би змогу приймати зображення з оптичної сенсора з роздільною здатністю 640 x 480 пікселів. Зображення з відеокамери має пройти обробку та відображатись з на віддаленому веб-сервері в режимі реального часу.

Розроблюваний пристрій повинен являти моноблочну конструкцію, що містить друкований вузол з роз'ємом для акумулятора. Такі компоненти як мікроконтролер, модуль відеокамери, модуль Wi-Fi, та інші активні та пасивні елементи розташовані безпосередньо на друкованій платі та розміщені за допомогою наскрізного або поверхневого монтажу. Відображення отриманих даних забезпечується за допомогою віддаленого веб-серверу.

Висновки до розділу

Отже, в даному розділі проведено аналіз принципу роботи модуля відеокамери OV7670, який обрано для подальшої реалізації пристрою. Аналіз готових рішень та патентний пошук показав, що вони мають досить застарілу елементну базу, використання якої є невиправданим у наш час, однак певний принцип роботи цих систем є актуальним, тому підібравши найбільш оптимальну елементну базу, можна створити пристрій, який буде задовольняти всі вимоги актуальності. Крім цього, це дозволить знизити собівартість готового пристрою, а також його енергоспоживання.

Опираючись на ці дані, сформовано технічне завдання на проєктування. В якості об'єкта проєктування обрано модуль цифрової відеокамери, який є більш актуальним та сучасним у порівнянні з патентами і має більше переваг,

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

наприклад можливість передачі даних через Wi-Fi прийомо-передавач, що надає змогу користувача отримати доступ до даних з відеокамери у будь-якій точці світу.

Прийнято рішення реалізувати цифрову відеокамеру, яка мала б можливість відтворювати зображення, отримане з модуля відеокамери на віддаленому веб-сервері в реальному часі з роздільною здатністю до 640 x 480 пікселів. Всі основні схемотехнічні рішення та основні функції необхідно здійснювати за допомогою мікроконтролера. Це дозволить знизити собівартість пристрою та забезпечити простоту реалізації приладу.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ

2.1 Розробка структурної схеми та принцип роботи блоку відображення даних

Відповідно до даних, наведених у розділі 1.2, вирішено обрати цифрову відеокамеру в якості предмета дослідження дипломного проєкту.

Структурну схему блоку відображення даних з відеокамери наведено на рисунку 2.1.

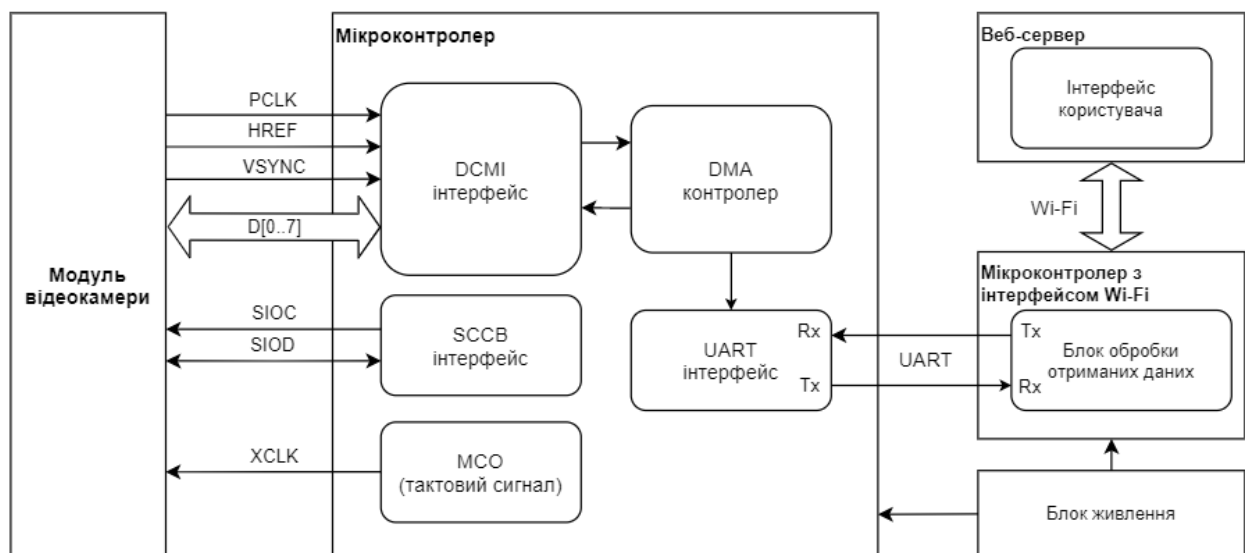


Рисунок 2.1 – Схема електрична функціональна блоку відображення даних з відеокамери

За умови, що на схему подано живлення, необхідно зайти за IP-адресою на веб-сервер. Після встановлення з'єднання з сервером на виводі CTS модуля Wi-Fi встановиться логічна "0", про що за допомогою інтерфейсу UART дізнається мікроконтролер [8]. Це буде сигналом для початку передачі потоку кадрів зображень з модуля камери інтерфейсом DCMi. Взаємодія мікроконтролера з цифровим модулем відеокамери буде здійснюватися за допомогою шини управління послідовною камерою (SCCB), яка також використовується для налаштування режиму роботи модуля камери. Відеокамера, отримавши сигнал

про початок роботи, розпочне передачу кадрів по восьмибітній шині даних. Зображення, отримані мікроконтролером з модуля камери оброблюється через інтерфейс DCMI (Digital Camera Memory Interface), після чого потрапляє на контролер DMA, який налаштований на режим передачі даних в буфер FIFO без зупинок [9]. Після цього отримані зображення формуються в посилки та відправляються по UART-інтерфейсу на модуль Wi-Fi, де формуються пакети з зображеннями, які відправляються по Wi-Fi та потрапляють на веб-сервер, де користувач має змогу бачити безперервний потік зображень.

Виходячи з цих даних, можна зробити висновок, що для реалізації прототипу буде доцільно використати мікроконтролер, яких мав би в собі всі необхідні блоки (SCCB, DCMI, DMA, UART) [10].

Блок відображення даних з відеокамери складається з:

- модуля відеокамери;
- керуючого мікроконтролера, який містить в собі інтерфейси DCMI, SCCB, UART, DMA контролер, генератор тактового сигналу;
- модуля, в якому наявний інтерфейс Wi-Fi прийомо-передавача;
- блоку живлення;
- блоку стабілізації вхідної напруги;
- віддалений веб-сервер.

Модуль відеокамери. Даний модуль необхідний для зчитування зображення з світлочутливого елемента, здійснення їх первинної обробки, а також передачі на мікроконтролер.

Інтерфейс DCMI. Являється внутрішньою периферією мікроконтролерів STM32. Дозволяє приймати потік даних з зовнішнього модуля паралельної камери або будь-якого іншого цифрового датчика, що підтримує паралельний інтерфейс.

Інтерфейс SCCB. Є повним аналогом послідовної шини I²C. Необхідний для управління налаштуваннями камери з мікроконтролера.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		16

DMA контролер. Використовується для неперервної передачі потоку даних з шини DCMІ в буфер FIFO мікроконтролера.

Інтерфейс UART. Необхідний для передачі пакетів даних з буферу FIFO мікроконтролера на модуль з вбудованим Wi-Fi інтерфейсом.

Генератор тактового сигналу. Виконує обов'язки тактування модуля відеокамери та керуючого мікроконтролера, використовуючи зовнішній кварцовий резонатор [11].

Блок живлення. Для обох мікроконтролерів та модуля відеокамери необхідно забезпечити реалізацію живлення +3.3 В, використовуючи лінійний стабілізатор напруги.

Блок відправки даних. В якості блоку обробки даних виступає модуль який містить Wi-Fi прийомо-передавач. Він дозволяє надсилати отримані дані з буферу FIFO керуючого мікроконтролера на віддалений веб-сервер.

Інтерфейс користувача. Являє собою віддалений автономний веб-сервер, який приймає дані з модуля з вбудованим Wi-Fi прийомо-передавачем [12].

2.2 Розробка схеми електричної принципової та вибір елементної бази

Схему електричну принципову ДК61.463121.001 ЕЗ наведено в додатку.

На схемі електричній принциповій зображуються всі складові частини електричної схеми, зв'язки між компонентами, а також вхідні та вихідні роз'єми. Для схеми пристрою, що розробляється необхідно забезпечити наявність таких складових:

- Елементи стабілізації та фільтрації напруги живлення схеми;
- Елементи фільтрування завад живлення для мікроконтролера;
- Елементи скидання мікроконтролера в початковий стан;
- Елементи забезпечення номінальної вихідної частоти кварцовим резонатором;

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- Елементи захисту тактової кнопки від брязкоту контактів.

Вибір елементної бази для розробки пристрою, що проектується здійснюється, виходячи з таких міркувань:

- забезпечення необхідних електричних параметрів з вказаною точністю;
- працездатність пристрою в кліматичних умовах, наведених в ТЗ;
- врахування розмірів та маси пристрою;
- надійність пристрою, а також його працездатність в заданий термін.

Вибір елементної бази проводиться на основі схеми електричної принципової з урахуванням наведених у ТЗ умов і вимог. Схема містить пасивні компоненти, цифрові мікросхеми, мікроконтролер.

Вибір резисторів. При виборі резисторів необхідно враховувати такі параметри: номінальний опір, нормований допуск, розсіювана потужність, робоча температура, тип резистора, максимальна робоча напруга, спосіб монтажу.

Відповідно до цих параметрів, а також вимог, наведених в ТЗ, були обрані резистори SMD типорозміру 0805 з допуском 5% виробника Yageo. На точність результатів номінал резисторів не впливатиме, тому допуску $\pm 5\%$ буде достатньо. Потужність даних резисторів становить 0,25 Вт. Робоча температура лежить в межах $-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$, що повністю задовольняє температурний режим роботи. Максимальна робоча напруга становить 250 В [13].

Вибір конденсаторів. При виборі конденсатора для конкретного пристрою враховуємо наступні параметри: необхідне значення ємності конденсатора, робоча напруга конденсатора, точність, тип конденсатора, робоча температура, спосіб монтажу.

Відповідно до цих параметрів, а також вимог, наведених в ТЗ, були обрані керамічні та електролітичні конденсатори. В якості керамічних конденсаторів були підібрані конденсатори SMD типорозміру 0805 виробника Kemet. Точність конденсатора становить $\pm 5\%$. Максимальна робоча напруга не повинна

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищувати 25 В. Діапазон робочих температур лежить у межах від -55°C до +125°C. Температурний коефіцієнт – X7R. Ці конденсатори є хорошим вибором для схеми, так як вони мають високу надійність і стабільність в роботі.

В якості електролітичних конденсаторів були обрані конденсатори для наскрізного монтажу виробника Wurth Elektronik. Точність таких конденсаторів становить $\pm 20\%$. Її буде достатньою, так як даний тип конденсаторів використовується в якості фільтра в ланцюзі живлення пристрою і відповідність номіналу не є дуже важливою. Оскільки робоча напруга пристрою повинна бути 3,3 В, то даний конденсатор повністю задовольнить умови, так як максимальна робоча напруга, на яку він розрахований – 50 В. Діапазон робочих температур лежить у межах від -40°C до +105°C [14].

Вибір кварцового резонатора. Обрано резонатор HC-49S з частотою 8 МГц виробника Geueg. Вибір зупинився на ньому, так як він є досить стабільним і точним в роботі та має досить малі розміри. Діапазон робочих температур лежить у межах від -20°C до +70°C, що входить в діапазон необхідних робочих температур [15].

Вибір мікроконтролера. Виходячи з вимог до пристрою, що проєктується, потрібно обрати мікроконтролер, який має на борту послідовні інтерфейси, флеш-пам'ять та оперативну пам'ять, споживає відносно мало електроенергії, а також має відносно низьку ціну. Розглянуто основні найпопулярніші сімейства мікроконтролерів, представлені на ринку: AVR32, PIC32, STM32, MCS-51. Порівняльна характеристика цих сімейств наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика серій мікроконтролерів

Характеристика	Сімейство мікроконтролерів			
	MCS-51	AVR32	PIC32	STM32
Тактова частота, МГц	3.5 - 12	1 - 20	1 - 20	1 - 168
Розрядність, біт	8	8 / 32	8 / 16 / 32	32 / 64

Продовження таблиці 2.1:

Флеш-пам'ять, кБ	0.128	512	2048	2048
Інтерфейси	UART, SPI, I2C	UART, SPI, I2C, CAN, USB	UART, SPI, I2C, USB, PIC	UART, I2C, I2S, SPI, USB, DCMi
Енергоспоживання	низьке	низьке	низьке	низьке
Середня ціна, \$	3	4	10	11

Проаналізувавши порівняльну характеристику, для реалізації пристрою обрано мікроконтролер сімейства STM32 серії F4, а саме STM32F429ZIT6 [16]. В порівнянні з мікроконтролерами інших сімейств він має суттєві переваги. По-перше, він має дуже високу тактову частоту, яка дозволить пристрою, що проектується, працювати без суттєвих затримок. По-друге, даний мікроконтролер має апаратний інтерфейс DCMi, який полегшить роботу з модулем відеокамери. Крім цього, вибраний мікроконтролер підтримує необхідні для роботи інтерфейси I²C, UART, контролер пам'яті DMA. Єдиним недоліком цього мікроконтролера є ціна, яка є вищою, ніж у інших сімейств, проте це нівелюється перевагами, які має даний компонент.

Вибір мікросхем. Вибір елементної бази буде здійснюватися методом вибору ІС за матрицею приведених параметрів. Суть методу лежить в підборі найважливіших параметрів для порівнюваних серій мікросхем, наданні їм вагових коефіцієнтів b_j . Далі складається матриця параметрів X , а також матриця нормованих параметрів, з якої робляться остаточні висновки щодо вибору найбільш оптимальної ІС.

Для прикладу розглянемо вибір модуля Wi-Fi DD3 з елементів чотирьох різних серій (ESP-01, HLK-M50, NRF24L01, RTL8723BS) [17]. Вони є однаковими за своїм функціоналом, та підтримують всі необхідні інтерфейси, необхідні для реалізації пристрою. Приведеними параметрами, або критеріями, за якими будуть обиратися мікросхеми, є:

- Максимальна та мінімальна температури, при яких модуль зможе працювати;
- Максимальна та мінімальна оперативна частота, в межах яких модуль зможе передавати дані;
- Струм споживання в стані спокою – I_q ;
- Чутливість приймача RX_{SENS} .

Під час складання матриці параметрів ІС необхідно визначити вплив кожного параметра на пристрій, що розроблюється. Оскільки пристрій буде живитися від батареї, то ваговий коефіцієнт для струму споживання в стані спокою буде найбільшим. Далі йде чутливість приймача сигналу. Наступними за важливістю параметрами будуть максимальне та мінімальне значення діапазону смуги радіочастот, в межах якої модуль зможе передавати дані. Найменш важливими параметрами будуть мінімальні та максимальні значення діапазону робочих температур.

Таблиця 2.2 – Матриця параметрів мікросхем різних серій

Серія ІС	Параметри					
	$T_{min}, ^\circ C$	$T_{max}, ^\circ C$	$I_q, \text{мкА}$	RX_{SENS}, dB	$f_{opmin}, \text{ГГц}$	$f_{opmax}, \text{ГГц}$
ESP-01	-40	+125	10	-91	2.4	2.49
HLK-M50	-40	+85	22	-86	2.4	2.49
NRF24L01	-40	+85	1	-80	2.4	2.52
RTL8723BS	-20	+70	13	-85	2.4	2.49
Ваговий коефіцієнт b_j	0.1	0.1	0.3	0.25	0.13	0.13

Складемо матрицю параметрів $|X|$ (Таблиця 2.3) згідно таблиці 2.2.

Таблиця 2.3 – Матриця параметрів $|X|$

$ X $					
		-	-		
-40	125	10	-91	2,4	2,49

Продовження таблиці 2.3:

-40	85	22	-86	2.4	2.49
-40	85	12	-90	2.4	2.52
-20	70	13	-85	2.4	2.49

Стовпчик з параметрами, для яких більше значення не відповідає найкращій якості матриці $|X|$, позначені «-».

Приводимо стовпчики матриці до такого вигляду, щоб більшому значенню параметра відповідала найкраща якість ІС. Параметри, що не задовольняють цій умові, перераховуються за формулою:

$$Y_{ij} = \frac{1}{X_{ij}}, \quad (2.1)$$

де $i = \overline{1, n}$ – кількість вибраних ІС;

$j = \overline{1, m}$ – кількість параметрів ІС.

Матриця параметрів $|Y|$ матиме наступний вигляд (Таблиця 2.4):

Таблиця 2.4 – Матриця параметрів Y

Y					
40	125	0.1	0.01	2.4	2.49
40	85	0.05	0.01	2.4	2.49
40	85	0.08	0.01	2.4	2.52
20	70	0.08	0.01	2.4	2.49

Далі матрицю $|Y|$ приведемо до матриці $|A|$ - матриці нормованих параметрів. Нормування параметрів виконуємо за наступною формулою:

$$a_{ij} = \frac{\max u_{ij} - y_{ij}}{\max u_{ij}}, \quad (2.2)$$

де $\max u_{ij}$ – максимальний елемент у стовпчику;

y_{ij} – поточне значення елемента у стовпчику $|Y|$.

Матриця нормованих параметрів набуде вигляду (Таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Таблиця нормованих параметрів А

Матриця нормованих параметрів А					
0	0	0	0.06	0.005	0.02
0	0.32	0.55	0.01	0	0.02
0	0.32	0.17	0.06	0.005	0
0.5	0.44	0.23	0	0	0.02

Для узагальненого аналізу системи параметрів вводимо оцінюючу функцію.

$$Q_i = \sum_{j=1}^m a_j b_j, \quad (2.3)$$

де b_j – ваговий коефіцієнт.

$$\sum_{j=1}^m b_j = 1 \quad (2.4)$$

Для вибраних ІС визначили параметр Q_i , і отримали таблицю значень (Таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 – Таблиця параметрів Q

Серія ІС	Q
ESP-01	0.02
HLK-M50	0.2
NRF24L01	0.1
RTL8723BS	0.17

Тепер є можливість вибрати ту серію ІС, яка найбільш відповідає вимогам, представленими в ЕОА. Найменшому значенню відповідає найкраща серія ІС.

Аналізуючи результати Таблиці 2.6, можна зробити висновок, що найменше значення Q відповідає серії ESP-01. Ця мікросхема виробника Espressif Systems повністю відповідає вимогам ТЗ, підтримує необхідні для роботи послідовний інтерфейс UART для зв'язку з мікроконтролером та Wi-Fi для передачі даних на веб-сервер. Крім цього мікросхема має досить великий діапазон робочих температур та хорошу чутливість приймача сигналу.

Аналогічним способом була підібрана мікросхема DA1 являється стабілізатором напруги. Була обрана серія мікросхем LD1117 [18]. Вона має досить низьке падіння напруги, яке становить 0.1 В. Приймаючи до уваги те, що в якості джерела живлення буде виступати акумулятор, то таким стабілізаторам буде визначатися напруга, при досягненні якої пристрій перестане працювати. Мікросхеми цієї серії розсіюють потужність до 12 Вт, а також можуть видавати вихідний струм до 800 мА.

В якості модуля відеокамери обрано OV7670 виробника OmniVision, який має оптичний сенсор з якого будуть зчитуватися зображення та має роздільну здатність до 640 на 480 пікселів. Перевагою даного модуля є досить низька ціна, у порівнянні зі своїми аналогами та відносна простота в налаштуванні та роботі.

Для реалізації функції скидання мікроконтролера був обраний перемикач (без фіксації) серії IT-1102 виробника Well Buying [19]. Він може витримати напругу до 12 В та струм до 50 мА, що відповідає вимогам, наведеним в ТЗ. Також має ресурс в 100000 циклів натискання, що є дуже хорошим значенням, так як ця кнопка повинна працювати безпомилково при неодноразовому натисненні.

Для реалізації функції перепрограмування мікроконтролера був обраний DIP-перемикач серії DS04-254-2-01BK-SMT виробника CUI Devices [20]. Він має два положення (з фіксацією), може витримати струм до 25 мА і напругу до 24 В, що цілком відповідає вимогам ТЗ. Також має ресурс в 20000 циклів натискання, що є доволі хорошим значенням для перемикачів такої серії.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Розрахунок схеми електричної принципової

Перелік елементів до схеми наведений в додатку Є.

Розробку схеми електричної принципової необхідно почати зі стабілізації та фільтрації напруги живлення. У схемі необхідно забезпечити лінію живлення, яке буде подаватися на роз'єм ХР1, який має два контакти: $U_{\text{жив}}$ (5 В) та землю (GND). Для живлення ІС DD1-DD2 та DA1-DA2 напруга буде стабілізуватися лінійним стабілізатором LM1117-3.3. Для усунення низькочастотних завад, відповідно до технічних вимог, вихід стабілізатора необхідно підключити до згладжувальних конденсаторів C23 та C24 з ємністю 470 мкФ та 100 нФ відповідно.

Для підтвердження правильності вибору номіналів конденсаторів, проведемо розрахунки.

Нехай через кожен ІС стабілізації буде протікати максимальний струм, який може бути в схемі I_{max} , отриманий в розрахунках в розділі 3 і дорівнює 211 мА. Припустимо, що для керамічного конденсатора C24 частота пульсацій f_{max} становитиме 2 МГц. Оскільки акумулятор буде виступати в якості джерела живлення, і буде видавати стабільну напругу, то візьмемо амплітуду пульсацій $U_{\text{п}}$ на рівні 3 % від напруги живлення (150 мВ).

Маючи ці значення, розрахуємо ємність фільтруючого конденсатора. Отримали:

$$C = \frac{I_{\text{max}}}{2 * \pi * f_{\text{max}} * U_{\text{п}}} = \frac{211 * 10^{-3}}{2 * 3.14 * 2 * 10^6 * 150 * 10^{-3}} = 112 \text{ (нФ)} \quad (2.5)$$

Згідно ГОСТ 28884-90 візьмемо найближче значення ємності з номінального ряду – 100 нФ.

Для розрахунку номіналу електролітичного конденсатора С4 врахуємо, що частота пульсацій напруги живлення f_{max} становить 50 Гц, оскільки

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		25

електролітичні конденсатори можуть відфільтровувати лише низькочастотні завади, а амплітуда пульсацій буде рівною 30% від напруги живлення, або 1.5 В.

$$C = \frac{I_{max}}{2 * \pi * f_{max} * U_{п}} = \frac{211 * 10^{-3}}{2 * 3.14 * 50 * 1.5} = 447 \text{ (мкФ)}$$

Візьмемо найближче значення ємності з номінального ряду – 470 мкФ.

Враховуючи той факт, що зі частоти, згенерованої RC-генератора, вбудованого в мікроконтролер буде необхідно тактувати модуль відеокамери, це з високою ймовірністю призведе до похибки в значенні тактової частоти, оскільки RC-генератор має досить погану температурну стабільність – 1% на кожні 20°C, і це вплине на роботу всього пристрою. В свою чергу, модуль відеокамери має власний генератор тактової частоти, який також є не досить стабільним у роботі. Тому для тактування модуля камери візьмемо кварцовий резонатор. Маючи частоту кварцового резонатора, яка становить 8 МГц, можемо розрахувати значення ємності керамічних конденсаторів C16 та C17, які входять в генератор Пірса [21]. З документації візьмемо максимальне значення навантажувальної ємності резонатора C_L, яка становить 32 пФ, паразитну ємність C_п, до якої входять ємність провідників на платі, а також ємність виводів резонатора. Зазвичай загальне значення паразитної ємності становить 3-5 пФ.

Тоді отримаємо:

$$C_L = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} + C_{п} \quad (2.6)$$

Приймемо, що C₁ = C₂ = C. Звідси:

$$C = 2 * (C_L - C_{п}) = 2 * (32 - 5) = 54 \text{ (пФ)} \quad (2.7)$$

Таким чином, отримали, що ємність конденсаторів C16, C17 повинна становити 54 пФ.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки в схемі використовується інтерфейс I²C для зв'язку мікроконтролера з модулем камери, то для провідників SDA (Serial Data) та SCL (Serial Clock) необхідно розрахувати опір підтягуючих до живлення резисторів R1 та R3 [22]. Спершу розрахуємо ємність шини за наведеною формулою:

$$C_{\text{шина}} = C_{\text{мк}} + C_{\text{модуль}} = 5 \text{ пФ} + 8 \text{ пФ} = 13 \text{ (пФ)}, \quad (2.8)$$

де: $C_{\text{мк}} = 5 \text{ пФ}$ – ємність виводу мікроконтролера; $C_{\text{модуль}} = 8 \text{ пФ}$ – ємність виводу модуля камери. Так як шина I²C налаштована на роботу у звичайному режимі, то її частота становитиме 100 кГц. Тому час наростання від рівня логічного нуля до рівня логічної одиниці для шини I²C у звичайному режимі роботи не буде перевищувати 1000 нс.

Візьмемо час наростання рівним 60 нс, тобто приблизно з 15-ти кратним запасом. Звідси час наростання від логічного нуля до логічної одиниці дорівнюватиме:

$$t_{\text{зр}} = \tau = R_{\text{під}} * C_{\text{шина}} \quad (2.9)$$

Звідки знаходимо $R_{\text{під}}$:

$$R_{\text{під}} = \frac{\tau}{C_{\text{шина}}} = \frac{60 * 10^{-9}}{13 * 10^{-12}} \approx 4615 \text{ (Ом)}. \quad (2.10)$$

Візьмемо найближче значення опору для R1 та R3 з номінального ряду E24 (ГОСТ 28884-90) – 4.7 кОм.

Для того, щоб обмежити струм на лініях RX та TX між мікроконтролером та модулем Wi-Fi та захистити входи мікроконтролера від надлишкового струму, згідно документації взято резистори R7, R8 номіналом по 200 Ом.

Були обрані конденсатори для фільтрування завад по живленню для мікроконтролера DD2 – C1-C15, C18-C22. Згідно документації на мікросхему, номінали керамічних конденсаторів C1-C7, C11-C19 становлять 100 нФ. Номінали електrolітичних конденсаторів C9-C10 становлять 1 мкФ. Номінал

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

керамічного конденсатора C20 становить 1 мкФ. Номінали керамічного конденсаторів C21-C22 становлять 2.2 мкФ. Всі ці конденсатори виконують функцію фільтрування завад на лініях живлення. Номінали вибрані згідно з рекомендаціями у документації на мікроконтролер. Конденсатори керамічні мають пробивну напругу 25 В, електролітичні – 50 В.

Також згідно з документацією на мікроконтролер номінал підтягуючого резистора R5 складає 1 кОм. Крім цього, згідно документації, для фільтру завад по живленню взято котушку індуктивності L1 серії ACML-0805-601-T виробника Abracon з феритовим осердям у SMD упаковці [23].

Номінал резисторів R2, R4 та конденсатора C8 визначається згідно документації на мікросхему OV7670. Так, значення резистора R2 дорівнює 10 кОм, резистора R4 – 4.7 кОм, значення конденсатора C8 – 100 нФ.

Номінал конденсатора C25, який виконує функцію захисту контактів тактової кнопки SB1 від брязкоту при замиканні/розмиканні, складає 100 нФ [24].

Для забезпечення модернізації програмного забезпечення пристрою, необхідно налаштувати виводи BOOT0 і BOOT1 мікроконтролера на запуск прошивки з різних джерел. Конфігурація виконуваних функцій залежно від логічного рівня на виводах наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.7 – Конфігурація виходів BOOT0 і BOOT1

BOOT1	BOOT0	Що запускається
x	0	Програма із флеш пам'яті
0	1	Загрузчик
1	1	Програма із SRAM пам'яті

Під'єднавши вивід BOOT1 мікроконтролера до землі, одразу відпадає можливість завантажувати програму зі SRAM пам'яті [25]. До виходу BOOT0 підключено DIP-перемикач SA1 з фіксацією. В положенні, коли SA1

замикається, BOOT0 буде підключений до логічної “1”, і запуститься загрузчик, відповідно мікроконтролер ввійде в стан прошивки. Якщо перемикач SA1 розімкнутий, то BOOT0 буде підключений до землі, тобто мікроконтролер буде запускати прошивку, якою його прошили. Тобто, при необхідності виправлення програмного забезпечення необхідно замкнути перемикач SA1, в іншому разі мікроконтролер буде запускати ту ж саму прошивку.

Висновки до розділу

В даному розділі на основі поставленого ТЗ описано принцип роботи блоку відображення даних з відеокамери, і створено структурну схему пристрою. Вона містить всі блоки, необхідні для коректного функціонування пристрою, а саме: модуль відеокамери, керуючий мікроконтролер, модуль з Wi-Fi прийомо-передавачем, блок живлення, блок стабілізації вхідної напруги. На основі даної структурної схеми розроблено схему електричну принципову. Для схеми електричної принципової був здійснений вибір елементної бази, орієнтуючись на вимоги технічного завдання і на сучасну компонентну базу. При їх виборі важливі для надійності пристрою параметри – максимально допустимі напруга, струм, розсіювана потужність, допуск номіналів. Для підтвердження правильності вибору фільтруючих конденсаторів та підтягуючих резисторів розраховано їх номінал. Обрані компоненти задовольняють всі вимоги ТЗ, і є найкращими в порівнянні зі схожими за характеристиками компонентами інших сімейств.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ

3.1 Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ

Розрахунки виконуються згідно з ГОСТ 23751-86.

Визначення мінімальної ширини друкованого провідника за постійним струмом для ланцюгів живлення і землі.

Щоб розрахувати ширину друкованого провідника спершу необхідно розрахувати мінімальну ширину провідника за постійним струмом, який через нього протікатиме, та з врахуванням максимально допустимого падіння напруги на ньому. Оскільки ширина провідника обмежується класом точності плати, то його кінцеву ширину розраховують за формулою:

$$b_{\text{др.пров.}} = \max(b_{\text{minГОСТ}}, b_{\text{minI}}, b_{\text{minU}}), \quad (3.1)$$

$b_{\text{minГОСТ}}$ – мінімальна ширина друкованого провідника згідно ГОСТ 23751-86;

b_{minI} – мінімальна ширина друкованого провідника за постійним струмом;

b_{minU} – мінімальна ширина друкованого провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому.

Візьмемо $b_{\text{minГОСТ}}$ четвертого класу точності, $b_{\text{minГОСТ}} = 0.15$ мм.

Розрахуємо мінімальну ширину друкованого провідника ланцюгів живлення і землі за формулою [26]:

$$B_{\text{minI}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{доп}} * t_{\text{пров}}}, \quad (3.2)$$

де: I_{max} – максимальний струм, який може протікати у ланцюзі;

$j_{\text{доп}}$ – допустима щільність струму для друкованого провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом;

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$t_{\text{пров}}$ – товщина друкованого провідника, яка обчислюється за формулою [26]:

$$t_{\text{пр}} = h_{\text{ф}} + h_{\text{гл}} + h_{\text{хм}}, \quad (3.3)$$

де: $h_{\text{ф}}$ – товщина фольги, $h_{\text{ф}} = 35$ мкм;

$h_{\text{гл}}$ – товщина шару гальванічно осадженої міді, $h_{\text{гл}} = 55$ мкм;

$h_{\text{хм}}$ – товщина шару хімічно осадженої міді, $h_{\text{хм}} = 6.5$ мкм.

Оскільки товщина фольги $h_{\text{ф}}$ становить 35 мкм і провідник виготовлено комбінованим позитивним методом, то, відповідно, $j_{\text{доп}} = 48$ А/мм²;

Звідси виходить, що:

$$t_{\text{пр}} = h_{\text{ф}} + h_{\text{гл}} + h_{\text{хм}} = 35 * 10^{-6} + 55 * 10^{-6} + 6.5 * 10^{-6} = 96.5 \text{ (мм)}$$

Струм I_{max} визначається як сума максимальних струмів споживання всіма активними елементами (мікросхемами) на шині. Струми споживання для всіх мікросхем наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Струми, що споживаються мікросхемами

Назва мікросхеми	$I_{\text{спож. max}}$, мА
STM32F429ZIT6	141
OV7670	10
ESP-01	50
LM1117	10
Сумарний струм споживання	211

З таблиці 3.1 отримали, що $I_{\text{max}} = 211$ мА. Тепер є можливість знайти мінімальну ширину друкованого провідника за постійним струмом для ланцюгів живлення і землі. Маємо:

$$B_{\text{minI}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{доп}} * t_{\text{пров}}} = \frac{0.211}{48 * 96.5 * 10^{-6}} = 45 \text{ (мкм)}$$

Визначення мінімальної ширини друкованого провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому.

Даний параметр розрахуємо за формулою [26]:

$$B_{minU} = \frac{\rho * I_{max} * L_{пров}}{U_{доп} * t_{пров}}, \quad (3.4)$$

де: ρ – питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом, $\rho = 17.5 * 10^{-3} \frac{\text{Ом} * \text{мм}^2}{\text{м}}$;

$L_{пров}$ – довжина найдовшого друкованого провідника на друкованій платі, $L_{пров} = 0.359 \text{ м}$;

$U_{доп}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику (зазвичай 5% від напруги живлення $U_{жив}$). Маємо:

$$U_{доп} = 0.05 * U_{жив} = 0.05 * 3.3 = 165 \text{ (мВ)} \quad (3.5)$$

$t_{пров}$ – товщина друкованого провідника, $t_{пров} = 96.5 \text{ мкм}$;

I_{max} – максимальний струм, який може протікати у ланцюзі,

$I_{max} = 211 \text{ мА}$.

Маючи ці дані, знаходимо B_{minU} :

$$B_{minU} = \frac{0.0175 * 0.211 * 0.359}{0.165 * 0.0965} = 83.2 \text{ (мкм)}$$

Отримали, що $b_{др.пров.} = \max(b_{minГОСТ}, b_{minI}, b_{minU}) = 0.15 \text{ мм}$, і значення буде мінімальною шириною друкованих провідників.

Визначення номінального діаметру монтажного отвору

Визначимо діаметри монтажних отворів для електролітичних конденсаторів Radial Can, та роз'єму PLS-2. Роз'єми інших компонентів містять

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

такі ж самі діаметри, як в PLS-2 або Radial Can. Діаметр можна розрахувати за допомогою формули [26]:

$$d = d_{\text{вє}} + \Delta d_{\text{мо}} + r, \quad (3.6)$$

де: $d_{\text{вє}}$ – діаметр виводу елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору;

$\Delta d_{\text{мо}}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО,

$\Delta d_{\text{мо}} = 0.1 \text{ мм};$

R – різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента, $r = 0.1 \div 0.2 \text{ мм}.$

Маємо:

$$d_{\text{radialcan}} = 0.8 + 0.1 + 0.2 = 1.1 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{PLS-2}} = 0.7 + 0.1 + 0.2 = 1 \text{ (мм)}.$$

Визначення діаметра контактної площинки

Діаметр контактної площинки розраховується за наступною формулою [26]:

$$D_{\text{min}} = D_{\text{min1}} + 1.5 * h_{\text{ф}} + 0.03 \quad (3.7)$$

де: D_{min1} – мінімальний ефективний діаметр контактного майданчика;

$h_{\text{ф}}$ – товщина мідної фольги ($h_{\text{ф}} = 35 \text{ мкм}$).

В свою чергу D_{min1} розраховується за формулою [26]:

$$D_{\text{min1}} = 2 * \left(b_{\text{по}} + \frac{d_{\text{max}}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{км}} \right), \quad (3.8)$$

де: d_{max} – максимальний діаметр просвердленого отвору в ДП;

$b_{\text{по}} = 0.05 \text{ мм}$ – ширина пояса КМ для 4-го класу точності;

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$\delta_o = 0.07$ мм – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС для 4-го класу точності;

$\delta_{км} = 0.05$ мм – похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС для 4-го класу точності.

Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП d_{max} шукаємо за формулою:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15), \quad (3.9)$$

де: d – діаметр просвердленого отвору;

Δd – відхилення від номінального діаметру отвору, $\Delta d = 0.05$ мм.

Проведемо розрахунки параметрів d_{max} , D_{min1} , D_{min} для електролітичних конденсаторів Radial Can, та роз'ємів PLS-2.

Маємо для конденсаторів Radial Can:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) = 1.1 + 0.05 + 0.15 = 1.3 \text{ (мм)};$$

$$D_{min1} = 2 * \left(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right) = 2 * \left(0.05 + \frac{1.3}{2} + 0.07 + 0.05 \right) = 1.64 \text{ (мм)};$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1.5 * h_{\Phi} + 0.03 = 1.64 + 1.5 * 0.035 + 0.03 = 1.72 \text{ (мм)}$$

Маємо для роз'ємів PLS-2:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) = 1 + 0.05 + 0.15 = 1.2 \text{ (мм)};$$

$$D_{min1} = 2 * \left(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right) = 2 * \left(0.05 + \frac{1.2}{2} + 0.07 + 0.05 \right) = 1.54 \text{ (мм)};$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1.5 * h_{\Phi} + 0.03 = 1.54 + 1.5 * 0.035 + 0.03 = 1.62 \text{ (мм)}.$$

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Шукаємо максимальний діаметр отвору. Для конденсаторів Radial Can:

$$D_{max} = D_{min} + 0.02 = 1.72 + 0.02 = 1.74 \text{ (мм)}. \quad (3.10)$$

Для конденсаторів Radial Can:

$$D_{max} = D_{min} + 0.02 = 1.62 + 0.02 = 1.64 \text{ (мм)}.$$

Визначення мінімальної та максимальної ширини провідника

Мінімальну ширину провідника можна визначити за допомогою формули [26]:

$$b_{min} = br_{гр}^{\Gamma} + 1.5 * h_{\phi} + 0.03, \quad (3.11)$$

де: $br_{гр}^{\Gamma}$ – мінімальна ширина провідника для обраного класу точності – в нашому випадку $br_{гр}^{\Gamma} = 0.2$ мм для четвертого класу точності згідно таблиці 4.1. Маємо:

$$b_{min} = br_{гр}^{\Gamma} + 1.5 * h_{\phi} + 0.03 = 0.15 + 1.5 * 0.035 + 0.03 = 0.23 \text{ (мм)}.$$

Максимальна ширина провідника обчислюється за формулою:

$$b_{max} = b_{min} + 0.02 \quad (3.12)$$

Маємо:

$$b_{max} = b_{min} + 0.02 = 0.23 + 0.02 = 0.25 \text{ (мм)}.$$

Визначення мінімальної відстані між краями двох сусідніх провідників

Мінімальна відстань між краями двох сусідніх провідників розраховується за формулою [26]:

$$S_{min.сп} = L_0 - (b_{max} + 2 * \delta_{сп}), \quad (3.13)$$

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

де: L_0 – відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС. Покладемо $L_0 = 1.25$ мм. Маємо:

$$S_{min.сп} = L_0 - (b_{max} + 2 * \delta_{сп}) = 1.25 - (0.25 + 2 * 0.05) = 0.9 \text{ (мм)}.$$

Визначимо мінімальну відстань між двома контактними майданчиками

Мінімальна відстань між двома контактними площинками розраховується за формулою [26]:

$$S_{min.КМ.КМ} = L_{01} - (D_{max} + 2 * \delta_{КМ}) \quad (3.14)$$

де: L_{01} - відстань між центрами сусідніх контактних площинок, $L_{01} = 0.5$ (мм);

B_{max} – ширина контактного майданчика, $B_{max} = 0.25$ (мм)

$$S_{min.КМ.КМ} = L_{01} - (D_{max} + 2 * \delta_{КМ}) = 0.5 - (0.25 + 2 * 0.05) = 0.15 \text{ (мм)}.$$

Можна побачити, що значення параметра $S_{min.КМ.КМ}$ задовольняє 4-ий клас точності, тоді як третій клас точності уже не дозволить використати ІС STM32F429ZIT6 в корпусі LQFP144.

3.2. Електричний розрахунок друкованої плати

За результатами електричного розрахунку необхідно визначити падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику, потужність втрат плати, величину паразитної поверхневої ємності між двома друкованими провідниками, взаємну індуктивність двох паралельних провідників.

Розрахунки виконуються за умови, що друкована плата виготовлена комбінованим позитивним методом, згідно ГОСТ Р 50621-93.

Розрахунок падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Падіння напруги на друкованому провіднику розраховується за формулою [26]:

$$\Delta U_{\text{пр}} = \frac{\rho * I_{\text{max}} * L_{\text{пров}}}{b_{\text{пров}} * t_{\text{пров}}} \quad (3.15)$$

де: ρ – питомий опір для комбінованого позитивного методу виготовлення друкованого провідника, $\rho = 0.0175 * 10^{-6}$ Ом * м;

$L_{\text{пров}}$ – максимальна довжин друкованого провідника, $l_{\text{пр}} = 359$ мм;

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника, $t_{\text{пр}} = 96.5$ мм;

I_{max} – струм в провіднику, $I_{\text{max}} = 211$ мА;

$b_{\text{пр}}$ – ширина провідника живлення, $b_{\text{пр}} = 0.5$ мм.

Маємо:

$$\Delta U_{\text{пр}} = \frac{\rho * I_{\text{max}} * L_{\text{пров}}}{b_{\text{пров}} * t_{\text{пров}}} = \frac{0.0175 * 10^{-6} * 0.211 * 0.359}{0.5 * 10^{-3} * 96.5 * 10^{-6}} = 27 \text{ мВ.}$$

Отримане значення падіння напруги не буде перевищувати 5% від напруги живлення всередині схеми (для +3.3 В це буде 0.165 В). Тому, обрана ширина друкованого провідника буде задовольняти вимогам до максимально можливого падіння напруги на ньому.

Розрахунок потужності втрат друкованої плати

Потужність втрат визначається за формулою [26]:

$$P_{\text{в}} = 2 * \pi * f_{\text{max}} * C * E_{\text{ж}}^2 * \text{tg} \sigma, \quad (3.16)$$

де: f_{max} – робоча частота електричної схеми, для розрахунку на постійному струмі, прийmemo $f_{\text{maxНЧ}} = 1$ Гц для низьких частот та $f_{\text{maxНЧ}} = 8$ МГц для високих частот.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$tg\sigma$ – тангенс кута діелектричних втрат, $tg\sigma = 2 * 10^{-3}$;

$E_{ж}$ – напруга живлення, $E_{ж} = 5$ В (найбільша напруга, що присутня в схемі,);

C – ємність друкованої плати, що визначається за наступною формулою [26]:

$$C = \frac{\varepsilon_0 * \varepsilon * S_m}{h}, \quad (3.17)$$

де: ε - діелектрична проникність матеріалу плати, для FR4 – $\varepsilon = 4.5$;

ε_0 — електрична стала, $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

$h_{дп}$ – товщина друкованої плати, $h_{дп} = 1.5$ мм;

S_m – площа металізації, $S_m = 824$ мм².

Знаходимо ємність C :

$$C = \frac{8.854 * 10^{-12} * 4.7 * 824 * 10^{-6}}{1.5 * 10^{-3}} = 22.9 \text{ (пФ)}.$$

Звідси шукаємо потужність діелектричних втрат P_B :

Для низьких частот:

$$\begin{aligned} P_B &= 2 * \pi * f_{max} * C * E_{ж}^2 * tg\sigma = \\ &= 2 * 3.14 * 1 * 22.9 * 10^{-12} * 25 * 0.002 = 7.18 \text{ пВт.} \end{aligned}$$

Для високих частот:

$$\begin{aligned} P_B &= 2 * \pi * f_{max} * C * E_{ж}^2 * tg\sigma = \\ &= 2 * 3.14 * 8 * 10^6 * 22.9 * 10^{-12} * 25 * 0.002 = 57.5 \text{ мкВт.} \end{aligned}$$

Розрахунок ємності між двома сусідніми провідниками

Даний параметр розраховується за формулою [26]:

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{\text{пар}} = \frac{0.12 * \varepsilon * L_{\text{пар}}}{\lg\left(\frac{2 * s}{t_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}}\right)}, \quad (3.18)$$

де: s – відстань між двома паралельними провідниками, $s = 0.5$ мм;

$b_{\text{пр}}$ – ширина друкованого провідника, $b_{\text{пр}} = 0.2$ мм;

$t_{\text{пр}}$ – товщина друкованого провідника, $t_{\text{пр}} = 96.5$ мкм;

$L_{\text{пар}}$ – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників,

$L_{\text{пар}} = 42$ мм.

Знаходимо $C_{\text{пар}}$:

$$C_{\text{пар}} = \frac{0.12 * \varepsilon * L_{\text{пар}}}{\lg\left(\frac{2 * s}{t_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}}\right)} = \frac{0.12 * 4.5 * 42}{\lg\left(\frac{2 * 0.5}{0.0965 + 0.2}\right)} = \frac{22.68}{0.53} = 42.95 \text{ (пФ)}$$

Отримана ємність вийшла досить малою, і не буде критичною для друкованих провідників.

Розрахунок індуктивності між двома сусідніми провідниками

Даний параметр визначається за формулою [26]:

$$M = 0.02 * \left(L_{\text{п}} * \lg\left(\frac{\sqrt{L_{\text{п}}^2 + L_0^2} + L_{\text{п}}}{L_0}\right) - \sqrt{L_{\text{п}}^2 + L_0^2} + L_0 \right), \quad (3.19)$$

де: $L_{\text{п}}$ – довжина перекриття двох паралельних провідників,

$L_{\text{п}} = 4.2$ мм;

L_0 – відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників,

$L_0 = 0.05$ мм.

Маємо:

$$M = 0.02 * \left(L_{\text{п}} * \lg\left(\frac{\sqrt{L_{\text{п}}^2 + L_0^2} + L_{\text{п}}}{L_0}\right) - \sqrt{L_{\text{п}}^2 + L_0^2} + L_0 \right) =$$

$$= 0.02 * (4.2 * \lg \left(\frac{\sqrt{17.64 + 2.5 * 10^{-3}} + 4.2}{0.05} \right) - \sqrt{17.64 + 2.5 * 10^{-3}} + 4.2) =$$

$$= 0.02 * \left(4.2 * \lg \left(\frac{8.4}{0.05} \right) - 8.4 \right) = 19 \text{ (пГн)}.$$

Аналізуючи отримане значення M , можна сказати, що взаємна індуктивність для двох провідників лежить в межах норми.

3.3 Розрахунок надійності друкованого вузла

Згідно ГОСТ 27.002-83, надійність – це властивість об'єкту зберігати впродовж певного часу установлені значення певних параметрів, які надають можливість виконувати свої функції в заданих умовах експлуатації, технічного обслуговування, збереження і транспортування. Основними показниками надійності є такі параметри:

- $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи;
- $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов;
- T – середній час напрацювання до першої відмови;
- $Q(t)$ – імовірність відмови.

Середній час напрацювання до першої відмови показує, який наробіток (переважно у годинах) у середньому припадає на одну відмову і розраховується за формулою:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}, \quad (3.20)$$

де λ – інтенсивність відмов.

Інтенсивність відмов – умовна густина імовірності виникнення відмови об'єкта, яка визначається за умови, що до цього моменту відмова не виникла. Вона залежить від режиму роботи та впливу зовнішніх чинників, таких як температура, тепловий удар, вологість, вібрація.

$$\lambda = \sum \lambda_i, \quad (3.21)$$

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

де λ_i – інтенсивність відмови на певному елементі, вузлі, тощо.

$$\lambda_i = \lambda_{i \text{ н.у.}} * K_1 * K_2 * \dots * K_n, \quad (3.22)$$

де K_1, K_2 – поправочні коефіцієнти, які враховують режим роботи та вплив зовнішніх чинників, K_n - коефіцієнт навантаження, що дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі:

$$K_n = \frac{N_{\text{роб}}}{N_{\text{ном}}} \quad (3.23)$$

Розрахуємо коефіцієнт навантаження для кожного з типів конструктивних елементів. Він визначається як відношення навантаження в робочому режимі до навантаження номінального.

Резистори. Для резисторів коефіцієнт K_n визначається потужністю, яка розсіюється на резисторі. Візьмемо резистор, у якого найменший номінальний опір (200 Ом), і відповідно, можливе найбільше падіння напруги.

Формула для розрахунку K_n для резистора:

$$K_n = \frac{U^2}{R * P_{\text{ном}}}, \quad (3.24)$$

де: R – опір резистора;

U – максимально можлива напруга на елементі;

$P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність резистора.

Маємо:

$$K_n = \frac{U^2}{R * P_{\text{ном}}} = \frac{5^2}{200 * 0.25} = 0.5.$$

Конденсатори. Для конденсаторів коефіцієнт K_n визначається по напрузі.

Формула для розрахунку K_n для конденсатора:

$$K_n = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (3.25)$$

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

де: $U_{\text{роб}}$ – максимально можлива напруга, яка може протікати на конденсаторі;

$U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга пробою конденсатора.

Для керамічного конденсатора маємо:

$$K_{\text{н}} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{5}{25} = 0.2.$$

Для електrolітичного конденсатора маємо:

$$K_{\text{н}} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{5}{50} = 0.1.$$

Кварцовий резонатор. Для даного елемента візьмемо $K_{\text{н}} = 0.8$, оскільки даний елемент є важливим для функціонування мікроконтролера і модуля камери, тому є необхідність забезпечити певний запас по надійності.

Мікросхеми. Для ІС вибираємо $K_{\text{н}} = 1$, так як вони повинні працювати безпомилково і виконувати всі необхідні функції впродовж великого періоду, згідно з документації.

Інші елементи. Для решти елементів беремо $K_{\text{н}} = 1$.

В результаті, отримали такі значення (таблиця 3.2).

Оскільки кліматичним виконанням приладу обрано УХЛ1.1, врахуємо вплив поправочного коефіцієнту a_e на вплив зовнішніх чинників (для переносної апаратури $a_e = 15$).

Також в якості одного з поправочних коефіцієнтів використано температурний коефіцієнт a_t .

При розрахунках поступові відмови не враховуються.

Таблиця 3.2 – Показники надійності компонентів друкованого вузла

Компонент	N, кількість	Інтенсивність відмов, $\lambda_{0e} *$ $10^{-7}, \text{год}^{-1}$	K_H	a_e	a_t	$\lambda_{0e} * K_H * a_e *$ $* a_t * 10^{-7},$ год^{-1}
Резистори	9	0.044	0.5	15	0.2	0.59
Конденсатори керамічні	22	0.022	0.2	15	0.4	0.581
Конденсатори електролітичні	3	0.173	0.1	15	0.2	0,56
Кварцовий резонатор	1	0.03	0.8	15	1	0.36
Мікросхеми	4	0.025	1	15	1.2	1.8
Котушка індуктивності	1	0.02	0.4	15	0.3	0.036
Контакт роз'єму	2	0.015	1	15	1	0.45
Перемикачі	2	0.16	1	15	1	4.8
Друкована плата	1	0.001	1	15	1	0.015
Пайка виводу	160	0.000069	1	15	1	0.166
Сумарна інтенсивність відмов						8.96

Розрахуємо середній час напрацювання на відмову $T_{\text{сер}}$. Маємо:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{8.96 * 10^{-6}} = 111644 \text{ год.}$$

Середній час напрацювання на відмову склав 12 років, що є дуже хорошим результатом. Розрахуємо імовірність безвідмовної роботи та відмови.

Імовірність безвідмовної роботи обраховується за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda * t}, \quad (3.26)$$

де t – час експлуатації.

Отримали набір значень залежності імовірності відмов та безвідмовної роботи друкованого вузлу від часу експлуатації. Вони зображені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Залежності $P(t)$ та $Q(t)$

t , год	$\lambda \cdot 10^{-6}$, год $^{-1}$	$P(t)$	$Q(t)$
1	8.96	0.99999	0.00001
10	8.96	0.99991	0.00009
100	8.96	0.99910	0.00090
1000	8.96	0.99108	0.00892
10000	8.96	0.91432	0.08568
100000	8.96	0.40832	0.59168
1000000	8.96	0.00013	0.99987

Залежності імовірності безвідмовної роботи $P(t)$ та відмови $Q(t)$ від часу експлуатації зображені на рисунку 3.1.

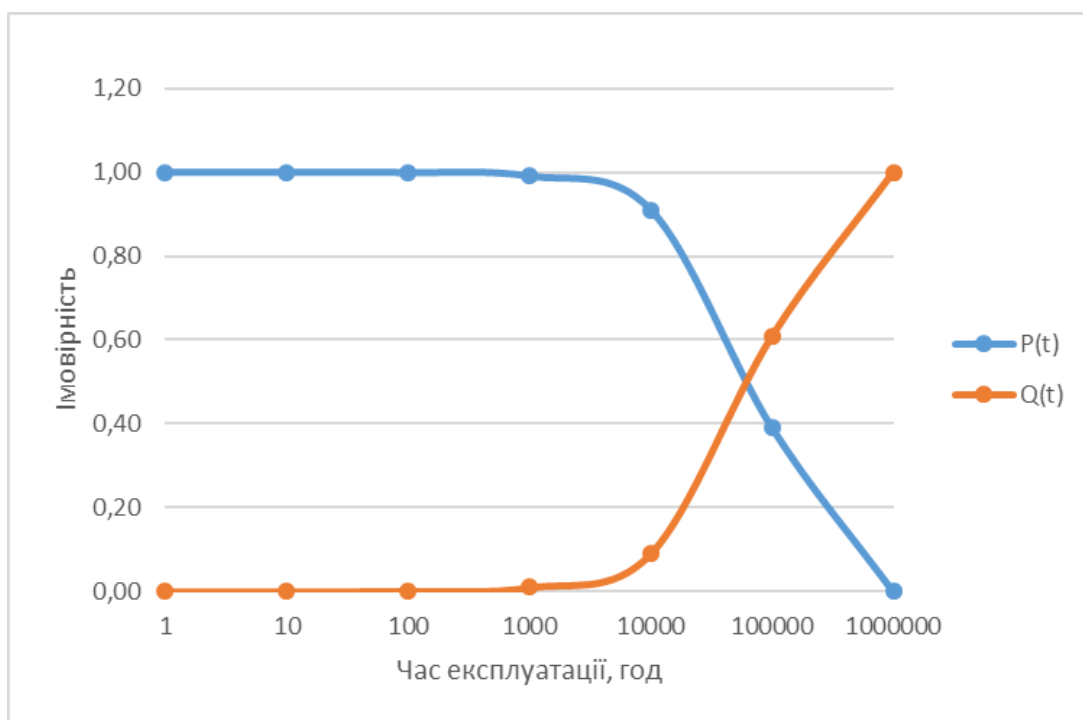


Рисунок 3.1 – Графік залежності ймовірності відмов і безвідмовної роботи друкованого вузла від часу експлуатації

Аналізуючи рисунок 3.1, можна помітити, що графіки $P(t)$ та $Q(t)$ мають точку перетину, в якій їх імовірності досягнуть однакового значення. Це відбудеться приблизно через 73000 години безвідмовної роботи.

3.4 Розрахунок віброміцності друкованого вузла

Для того, щоб забезпечити віброміцність друкованої плати, необхідно забезпечити дотримання наступних вимог:

- відсутність механічних резонансів в конструкції;
- обмеження амплітуди вібропереміщення значеннями, які вимикатимуть небезпечні механічні напруження.

Плата розроблюваного пристрою має розміри a (мм) $\times b$ (мм) $\times h$ (мм) = 105 x 55 x 1.5.

Сумарна маса елементів $m_E = 35.36$ г, згідно з розрахунками в таблиці 3.4.

Масу друкованої плати можна розрахувати за формулою:

$$m_{\text{дп}} = \rho * V = \rho * a * b * h, \quad (3.27)$$

де ρ – густина склотекстоліту, з якого виготовлена плата. Оскільки використовується склотекстоліт FR-4, то $\rho = 2.05$ г/см³. Маємо:

$$m_{\text{дп}} = \rho * a * b * h = 2.05 * 10^{-3} * 105 * 55 * 1.5 = 17.76 \text{ (г)}$$

Таблиця 3.4 – Маса елементів друкованої плати

Компонент	Позначення	Кількість	Маса, г	Загальна маса, г
Резистори	SMD 0.25 Вт 0805	9	0.024	0.216
Конденсатори керамічні	0805-X7R	22	0.024	0.528
Конденсатори електrolітичні	Radial Can	3	3.767	11.301
Кварцовий резонатор	HC-49S	1	0.063	0.063
Мікросхеми	STM32F429ZIT6	1	5.802	5.802
	OV7670	1	11.5	11.5

Продовження таблиці 3.4.

Мікросхеми	LM1117-3.3	1	1.178	1.178
	ESP-01	1	2.5	2.5
Котушка індуктивності	ACML-0805-601-T	1	0.018	0.018
Роз'єми	PLS-2	1	2	2
Перемикачі	DS04-254-2-01BK-SMT	1	0.073	0.073
	IT-1102	1	0.18	0.18
Сумарна маса елементів				35.36

Нижче наведені головні параметри склотекстоліту FR4:

- модуль пружності $\sigma_T = 105$ МПа;
- модуль Юнга $E = 2.2 \cdot 10^{10}$ Па;
- коефіцієнт Пуассона $\mu = 0.12$;
- показник згасання $\varepsilon = 0.06$;
- питома маса $\rho = 1850$ кг/м³;
- питома густина $\nu = 2.05 \cdot 10^4$ Н/м³;
- коефіцієнт запасу міцності $n_1 = 2$.

Також візьмемо коефіцієнт перенавантаження плати $n = 8$.

Оберемо тип закріплення друкованої плати – нежорстке спірання на 4 сторони (Рисунок 3.2).



$$\alpha = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2} \right)$$

Рисунок 3.2 – Обраний варіант закріплення друкованої плати

Обрахуємо коефіцієнт K_b за формулою:

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_E}{m_{ДП}}}} \quad (3.28)$$

Маємо:

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_E}{m_{ДП}}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{35.36}{17.76}}} = 0.58$$

Відповідно до рисунку 3.2, коефіцієнт α обраховується за формулою:

$$\alpha = \pi^2 * \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) \quad (3.29)$$

Маємо:

$$\alpha = \pi^2 * \left(1 + \frac{(105 * 10^{-3})^2}{(55 * 10^{-3})^2}\right) = 45.84$$

Обчислимо циліндричну жорсткість D за наступною формулою:

$$D = \frac{E * h^3}{12 * (1 - \mu^2)} \quad (3.30)$$

Маємо:

$$D = \frac{2.2 * 10^{10} * (1.5 * 10^{-3})^3}{12 * (1 - 0.12^2)} = 6.25 \text{ (Н * м)}.$$

Розрахуємо власну частоту коливань друкованої плати за формулою:

$$f_{\text{влас}} = \frac{K_B * \alpha}{2 * \pi * a^2} * \sqrt{\frac{D * g}{v * h}} \quad (3.31)$$

Маємо:

$$f_{\text{влас}} = \frac{K_B * \alpha}{2 * \pi * a^2} * \sqrt{\frac{D * g}{v * h}} = \frac{0.578 * 45.84}{2 * 3.14 * 0.1^2} * \sqrt{\frac{6.25 * 9.81}{2.05 * 10^4 * 1.5 * 10^{-3}}} = 594 \text{ (Гц)}$$

Оскільки отримане значення $f_{\text{влас}}$ є більшим за 250 Гц, то конструкція є абсолютно жорсткою.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Обрахуємо амплітуду вібрацій на власній частоті за формулою:

$$A = \frac{0.25 * n}{f_{\text{влас}}^2} \quad (3.32)$$

Маємо:

$$A = \frac{0.25 * n}{f_{\text{влас}}^2} = \frac{0.25 * 8}{594^2} = 5.66 \text{ (мкм)}$$

Обчислимо коефіцієнт динамічності, який показує у скільки разів амплітуда вимушених коливань відрізняється від амплітуди на частоті власних коливань за наступною формулою:

$$K_D = \frac{1}{\sqrt{[1 - (\frac{f}{f_{\text{влас}}})^2]^2 + (\frac{f * \varepsilon}{f_{\text{влас}}})^2}}, \quad (3.33)$$

де f – частота вимушених коливань. Прийmemo $f = 10$ Гц.

Маємо:

$$K_D = \frac{1}{\sqrt{[1 - (\frac{f}{f_{\text{влас}}})^2]^2 + (\frac{f * \varepsilon}{f_{\text{влас}}})^2}} = \frac{1}{\sqrt{[1 - (\frac{10}{594})^2]^2 + (\frac{10 * 0.06}{594})^2}} = 1.0006$$

Обчислимо динамічний прогин W за формулою:

$$W = K_D * A \quad (3.34)$$

Маємо:

$$W = 1.0006 * 5.66 = 5.67 \text{ (мкм)}$$

Порівняємо отримане значення W з товщиною плати (h). Динамічний прогин не повинен перевищувати $\frac{h}{5}$, тобто 0.3 мм. Як бачимо, ця умова виконується.

Визначимо розподілене динамічне навантаження P_d за формулою:

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_D = \frac{W * D}{c_1 * b^4}, \quad (3.35)$$

де c_1 – коефіцієнт, який розраховується за формулою:

$$c_1 = 0.00406 + 0.018 * \lg\left(\frac{a}{b}\right) \quad (3.36)$$

Маємо:

$$c_1 = 0.00406 + 0.018 * \lg\left(\frac{105}{55}\right) = 9 * 10^{-3}$$

Знаходимо коефіцієнт P_D :

$$P_D = \frac{W * D}{c_1 * b^4} = \frac{5.67 * 10^{-6} * 6.25}{0.009 * (55 * 10^{-3})^4} = 430 \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\right)$$

Знаходимо максимальний розподілений прогибний момент за формулою:

$$M_{max} = c_2 * P_D * b^2, \quad (3.37)$$

де коефіцієнт c_2 розраховується за формулою:

$$c_2 = 0.0479 + 0.18 * \lg\left(\frac{a}{b}\right) \quad (3.38)$$

Маємо:

$$c_2 = 0.0479 + 0.18 * \lg\left(\frac{105}{55}\right) = 98 * 10^{-3}$$

Знаходимо M_{max} :

$$M_{max} = 0.098 * 430 * (55 * 10^{-3})^2 = 127 \text{ (мН)}.$$

Знайдемо максимально можливе напруження для матеріалу друкованої плати за формулою:

$$\sigma_{доп} = \frac{\sigma_T}{n_1} \quad (3.39)$$

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Маємо:

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{105}{2} = 52.5 \text{ (МПа)}$$

Щоб виконувалась умова віброміцності, необхідно щоб виконувалась нерівність:

$$\sigma_{\text{max}} \ll \sigma_{\text{доп}}, \quad (3.40)$$

де σ_{max} розраховується за формулою:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{6 * M_{\text{max}}}{h^2} \quad (3.41)$$

$\sigma_{\text{max}} = \frac{6 * 0.127}{(1.5 * 10^{-3})^2} = 0.34 \text{ (МПа)} \ll 52.5 \text{ (МПа)}$, тобто умова віброміцності виконується.

3.5 Розрахунок теплового режиму стабілізатора напруги

Згідно з вимогами, викладеними в ТЗ, пристрій, що розробляється не має високих вимог до теплового режиму. Однак наявність лінійного стабілізатора в електричній схемі змушує провести для нього розрахунок теплового режиму, для того, щоб переконатись в оптимальності його роботи. Припустимо, що через лінійний стабілізатор DA1 буде протікати максимально можливий у схемі струм, який становить 211 мА. Згідно з документацією, стабілізатор напруги LM1117-3.3 має такі характеристики:

- Корпус SOT-223;
- Максимально допустима робоча температура кристалу $T_k = 150^\circ\text{C}$;
- Температурний опір корпус-середовище – $136 \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$;
- Тепловий опір переходу кристал-корпус – $15 \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$;
- Максимальна розсіювана потужність – 12 Вт.

Максимальна напруга, яка може поступати на вхід стабілізатора становить +5 В, відповідно напруга стабілізації становитиме +3.3 В. Розрахуємо

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

потужність, яка розсіюється на стабілізаторі при нормальних умовах за формулою:

$$P_{розс} = (U_{вх} - U_{стаб}) * I_{max} \quad (3.42)$$

Маємо:

$$P_{розс} = (5 - 3.3) * 211 * 10^{-3} = 0.36 \text{ (Вт)}$$

Отже, можна бачити, що за нормальних умов потужність, яка розсіюється на стабілізаторі не буде перевищувати навіть 5% від максимально допустимої.

Обрахуємо запас допустимих температур кристалу за наведеною формулою:

$$T_{доп} = T_{н.с.} + P_{розс} * (R_{корп-сер} + R_{крис-корп}), \quad (3.43)$$

де: $T_{н.с.}$ – температура навколишнього середовища. Візьмемо $T_{н.с.} = 50^{\circ}\text{C}$ з запасом, щоб здійснити розрахунок для найгіршого випадку;

$R_{КС}$ – тепловий опір кристал-середовище, що визначається за формулою:

$$R_{КС} = R_{корп-сер} + R_{крис-корп}, \quad (3.44)$$

де: $R_{корп-сер}$ – тепловий опір переходу корпус – навколишнє середовище;

$R_{крис-корп}$ – тепловий опір переходу кристал-корпус.

Маємо:

$$T_{доп} = 50 + 0.36 * (136 + 15) = 104 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

Обчислимо нагрів кристалу при його роботі за формулою:

$$\Delta T = P_{розс} * R_{КС}, \quad (3.45)$$

де ΔT – температура нагріву кристалу.

Маємо:

$$\Delta T = 0.36 * 151 = 54 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки отримане значення $T_{\text{доп}} < T_{\text{к}}$, а також враховуючи той факт, що температура оточуючого середовища бралась із запасом, можна зробити висновок, що потреби в використанні радіатора для відведення зайвого тепла немає необхідності.

Висновки до розділу

В цьому розділі були проведені обчислення, які підтвердили вірність рішень щодо вибору елементів друкованої плати та класу точності.

Розрахунки діаметрів контактних майданчиків, монтажних отворів, ширини друкованого провідника, відстані між контактними майданчиками задовольнили вимоги обраного 4-ого класу точності, тому їх можна вважати правильними.

В результаті розрахунку падіння напруги на найдовшому провіднику отримали значення 27 мВ, яке входить в допустимий діапазон в 5% від напруги живлення.

Потужність діелектричних втрат для частот 1 Гц та 8 МГц склали 7.18 пВт та 57.5 мкВт відповідно, тобто даним параметром можна знехтувати, і бути впевненим, що на роботу схеми це не вплине ніяким чином. Крім цього даний розрахунок підтверджує правильність вибору матеріалу друкованої плати (FR4).

Значення, отримані при розрахунку ємності та індуктивності між двома сусідніми провідниками (42.95 пФ та 19 пГн відповідно) доводять, що не матимуть значного впливу на роботу схеми, і ними можна знехтувати.

В результаті розрахунку надійності друкованого вузла отримали час напрацювання на відмову – 111600 год, який цілком відповідає вимогам ТЗ. Таке високе значення можна пояснити досить малою кількістю елементів у схемі, використання інтегральних збірок елементів, які мають дуже низьку інтенсивність відмови.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведено тепловий розрахунок для стабілізатора напруги, через який протікатиме найбільший струм в схемі. Результати показали, що при температурі навколишнього середовища 50°C температура кристалу становитиме 104°C. Оскільки це значення є набагато меншим за максимально допустиму робочу температуру, яка становить 150°C, то немає необхідності використовувати радіатор.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

4.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати

Друкована плата (ДП) — пластина, створена з діелектрика (склотекстоліт, текстоліт, гетинакс, ситал і т.д.), на якій або всередині якої розташований як мінімум один шар з провідними доріжками. На друковану плату встановлюються електронні компоненти, які з'єднуються з нею виводами за допомогою паяння, в результаті чого утворюється електронний модуль — змонтована друкована плата.

Друковані плати за конструкцією поділяються на:

- односторонні – ОДП;
- двосторонні – ДДП;
- багатошарові – БДП.

Орієнтуючись на ТЗ та схему електричну принципову прийнято рішення розробити двошарову друковану плату. Це рішення можна пояснити наступними причинами:

- схема пристрою досить невелика, і має не дуже багато елементів поверхневого монтажу;
- розрахунки в розділі 3 показали, що електромагнітні завади, паразитні ємності та взаємні індуктивності між елементами не мають значного впливу на працездатність схеми, тому у виділенні окремих шарів друкованої плати для провідників живлення та землі немає значної потреби.

В якості діелектрика для друкованої плати обрано склотекстоліт FR4, так як він цілком задовольняє вимоги ТЗ.

Нижче наведені основні параметри склотекстоліту:

- максимально допустима робоча температура – 140°C;

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- поверхневий опір – 10^6 МОм;
- пробивна напруга – 55 кВ;
- тангенс кута діелектричних втрат – $2 \cdot 10^{-3}$;
- міцність на прогин – 105 МПа;
- гігроскопічність – 0.2%;
- поздовжнє і поперечне викривлення – не більше, ніж 0.18%;
- стійкість до розплавлення припою – не менше, ніж 80 секунд.

Як можна бачити з наведених параметрів, цей матеріал повністю відповідає вимогам, наведеним в ТЗ, і цілком підходить для виготовлення друкованого вузла, є стійким до зовнішніх впливів – як механічних, так і погодних.

Товщину склотекстоліту обираємо 1.5 мм, оскільки це допоможе забезпечити вібростійкість друкованої плати.

Отже, для створення друкованої плати обрано матеріал FR-2-35-1.5. Цей матеріал – склотекстоліт, покритий мідною фольгою з обох сторін товщиною 35 мкм, а також має товщину 1.5.

4.2 Вибір класу точності друкованої плати

Точність виготовлення ДП залежить від багатьох технологічних параметрів і визначає основні параметри елементів ДП. Перш за все це стосується таких параметрів як мінімальна ширина провідників, мінімальний зазор між елементами, розміщеними на ДП. Згідно з ГОСТ 23571-86 існує п'ять класів точності ДП. В конструкторсько-технологічних розрахунках потрібно використовувати граничні значення елементів друкованого монтажу, враховуючи похибки їх виконання [27]. Граничні значення елементів друкованого монтажу та їх допустимі похибки наведені в таблицях 4.1 і 4.2 [26].

Таблиця 4.1 – Граничні значення основних параметрів ДМ

Параметер	Клас точності				
	1	2	3	4	5
Ширина друкованого провідника $b_{пр}$, мм	0.75	0.45	0.25	0.15	0.10
Відстань S між краями сусідніх елементів провідного рисунку, мм	0.75	0.45	0.25	0.15	0.10
Гарантований поясок $b_{по}$, мм	0.30	0.20	0.10	0.05	0.03
Відношення $f_{дт}$ номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	0.40	0.40	0.33	0.25	0.20
Щільність монтажу	мала	середня	середня	висока	висока

Таблиця 4.2 – Допустимі похибки виконання елементів ПМ

Похибка	Позначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КО	$\delta_{сп}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КО	δ_o	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КО	$\delta_{км}$	0.015(0.05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{\Phi\Phi}$	0,06

Виготовлення ДП другого і третього класів точності здійснюється на звичайному неспеціалізованому обладнанні. Такі ДП, які мають досить невисокі конструктивні параметри, призначені для виготовлення недорогих пристроїв з малою щільністю монтажу. ДП третього класу точності є найбільш поширеними у використанні, оскільки, з одного боку, забезпечують досить високу щільність трасування і монтажу, а з іншого - для їх виробництва достатньо звичайного спеціалізованого обладнання.

ДП четвертого класу точності випускають на високоточному обладнанні, проте вимоги до матеріалів, людських ресурсів, задіяних у виробництві, а також виробничих приміщень є значно нижчими у порівнянні з п'ятим класом точності.

Виготовлення ДП п'ятого класу точності вимагає застосування унікального високоточного обладнання, спеціальних, високоякісних (і, відповідно, дорогих) матеріалів і навіть створення у виробничих приміщеннях «чистої зони». Таким

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		56

вимогам відповідає не кожне виробництво. Однак, ДП невеликого розміру можуть виконуватися по п'ятому класу на обладнанні, що забезпечує виробництво плат четвертого класу.

Враховуючи вимоги ТЗ, та необхідність забезпечення достатньої щільності трасування і монтажу компонентів в корпусах, призначених для поверхневого монтажу, для даного проєкту обрано четвертий клас точності друкованої плати. Також даний клас точності дозволяє проводити друковані провідники між контактними майданчиками мікросхем з планарними виводами, що може бути дуже корисним при трасуванні.

Мінімальна ширина провідників для даного класу точності становить 0.15 мм, мінімальний діаметр металізованого отвору дорівнює 0.4 мм. При товщині плати 1,5 мм відношення мінімального діаметра металізованого отвору до товщини плати становить 0.26. Аналізуючи вищеназвані параметри, можна зробити висновок, що використати третій клас точності в даному проєкті неможливо, оскільки для вибраних елементів щільність монтажу та відстані між контактними майданчиками розраховані як мінімум на четвертий клас точності.

Тому, обираючи між четвертим та п'ятим класами точності, обрано саме четвертий, адже він є найбільш оптимальним.

4.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати

Існує декілька основних методів виготовлення друкованих плат, серед них:

- хімічний (субтрактивний) метод;
- комбінований (позитивний) метод;
- електрохімічний (адитивний) метод.

Для виготовлення ДП обрано комбінований позитивний метод. Цей метод широко застосовується при виготовленні двосторонніх друкованих плат. Він полягає в отриманні провідників шляхом травлення фольгованого діелектрика і металізацію отворів електрохімічним способом. Травлення відбувається після металізації отворів, а для створення металізованих отворів використовується ще

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

не витравлена фольга. Після чого виконується свердління і металізація отворів. Потім рисунок схеми і металізовані отвори захищають шаром матеріалу, що стійкий до рідини для травлення міді, після чого виконують травлення незахищених ділянок мідної фольги.

Перевагами цього методу є:

- отримання чітких ліній провідників друкованої схеми;
- менша трудомісткістю в порівнянні з електрохімічним методом;
- вища надійність друкованих плат, оскільки діелектрик знаходиться в сприятливих умовах, при цьому фольга оберігає його від дії електроліту.

Тому для виготовлення ДП обрано комбінований позитивний метод.

4.4 Розміщення компонентів в монтажному просторі

Щоб вирішити задачу розміщення елементів необхідно визначитися із критеріями, за якими буде відбуватися розміщення. Для цього основним критерієм буде мінімальна сумарна довжина провідників, так як він забезпечить найбільшу щільність розміщення елементів, а також розв'яже проблему зменшення кількості найдовших з'єднань і якомога ближчого розміщення компонентів. Все це допоможе полегшити етапи трасування та виготовлення друкованого вузла. Оскільки мікросхеми мають найбільшу кількість зв'язків, то їх розміщення в монтажному просторі визначатиме розміри ДП і її зовнішній вигляд. Іншими дискретними компонентами (резистори, конденсатори, котушка індуктивності і т.д.) можна знехтувати, оскільки зазвичай дані елементи мають досить невеликі розміри, тому в процесі їх розміщення в монтажному просторі їх буде дуже легко розмістити у вільних місцях.

Спочатку розташовуємо модуль камери, кнопку для скидання камери та перемикач для перепрограмування на титульній стороні друкованої плати. Це зумовлено його функціональним призначенням, так як користувачу буде зручніше працювати з пристроєм і елементами його керування. Виникає

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

питання, як необхідно розмістити інші елементи. Оскільки модуль відеокамери має найбільші розміри, використаних у проєкті, то розміщення інших елементів, які мають досить невеликі розміри на зворотній стороні плати є недоцільним, так як це лише збільшить розміри плати, і буде неефективно використовувати місце, що займається друкованою платою. Тому такі елементи як електролітичні конденсатори, Wi-Fi модуль, кварцовий резонатор, роз'єм для живлення та мікроконтролер, варто розмістити на титульній стороні плати.

Отже, маємо множину елементів X , котрі варто розташувати на верхній стороні плати:

$$X = \{C9, C10, C23, DA1, DA2, DD1, DD2, SA1, SB1, XP1, ZQ1\}.$$

Відповідно, маємо множину посадкових місць P :

$$P = \{P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11\}.$$

Початкове розташування посадкових місць зображено на рисунку 4.1.

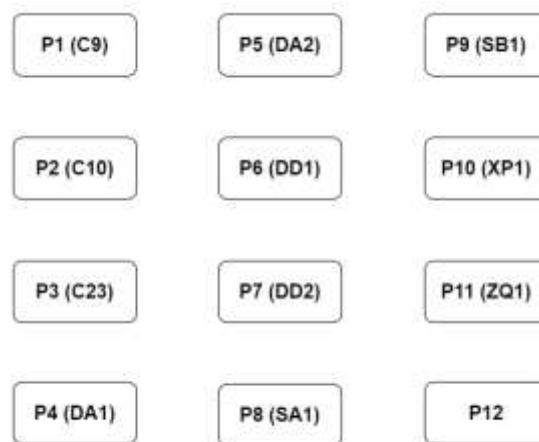


Рисунок 4.1 – Початкове розташування посадкових місць

Оскільки головним компонент пристрою є модуль камери, працездатність якого залежить від довжини провідників, то його доцільно розмістити посередині множини посадкових місць, тобто DD1 розмістимо в позицію P6.

Оскільки компонент DD2 має найбільше зв'язків з елементом DD1, то його доцільно розмістити поруч. Поставимо його в позицію P5.

Компонент DA1 є стабілізатором напруги живлення, тому розташуємо його біля конденсаторів, які також пов'язані з ланцюгами живлення.. Розмістимо його в позицію P4.

Компонент DA2 має досить мало зв'язків з іншими компонентами, однак має важливі зв'язки з компонентом DD2. Розмістимо його в позицію P9.

Компоненти C9, C10, C23 мають спільні зв'язки з ланцюгами живлення, належать до одного типу елементів та мають однакові розміри, тому вони мають розташовуватися разом. Розмістимо їх в позиції P1, P2, P3 відповідно.

Компонент ZQ1 має зв'язок з DD2, тому близьке розташування зменшить довжину сигнальних провідників, і зменшить вплив завад на якість сигналу. Розташуємо його в позицію P7.

Компонент XP1 є входом для живлення схеми, тому розмістимо його якомога ближче до стабілізатора напруги DA1. Розташуємо його в позицію P8.

Залишилось розташувати елементи керування SA1 та SB1, які з точки зору зручності для користувача варто розмістити біля компоненту DD1. Тому розмістимо їх на позиції P10 та P11 відповідно.

Таким чином отримали нове розташування посадкових місць в результаті їх розміщення. Воно зображене на рисунку 4.2.

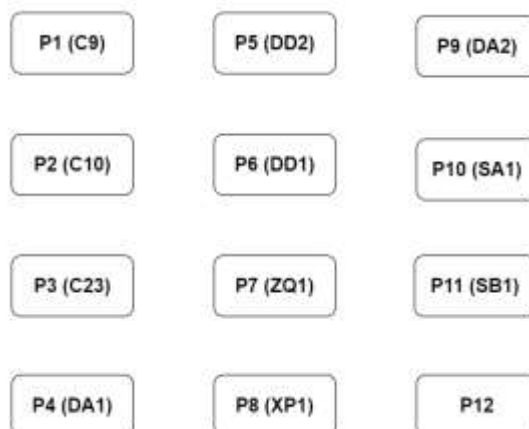


Рисунок 4.2 – Нове розташування посадкових місць

Використання такого розміщення компонентів дозволило оптимізувати зв'язки між компонентами, в свою чергу це що забезпечить мінімальну сумарну довжину провідників на друкованій платі, допоможе збільшити надійність та завадостійкість плати. Оскільки мікросхеми займають багато простору на верхній стороні друкованої плати, то немає необхідності розташовувати їх далеко один від одного щоб розмістити в цих місцях дискретні компоненти. Це призведе до збільшення габаритів плати. Тому дискретні компоненти можна розташувати на зворотній стороні плати, або на вільних ділянках, які залишаються після розміщення основних компонентів.

Перехідні отвори на друкованій платі являються наскрізними. Цей фактор враховувався при трасуванні ДП.

Трасування ДП виконувалося вручну, з урахуванням всіх вимог, наведених в ТЗ та без застосування автоматичного трасування у САПР.

4.5 Проєктування друкованої плати у середовищі Altium Designer

Altium Designer (AD) – це комплексна система автоматизованого проєктування радіоелектронних засобів, яка дозволяє провести повний цикл проєктування друкованого вузла, згенерувати всі необхідні для виробництва вихідні файли та документацію.

В ході проєктування друкованого вузлу проведено декілька етапів роботи в середовищі AD, а саме: створення проєкту, створення бібліотеки умовно-графічних позначень (УГП), створення бібліотеки посадкових місць для компонентів, створення схеми електричної принципової, створення друкованої плати.

Створення проєкту. PCB Project – проєкт, що включає в себе певний набір документів та файлів, необхідних для створення друкованої плати.

Створення бібліотеки УГП. Спочатку до проєкту додано бібліотеку умовно-графічних позначень, що можна зробити вручну, або використати вже

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

готові бібліотеки. Однак готові бібліотеки майже завжди не відповідають ГОСТ, тому прийнято рішення створити бібліотеку УГП вручну, яка б відповідала стандартам.

Створення бібліотеки посадкових місць та 3-Д моделей компонентів.

Після створення бібліотеки УГП створено бібліотеку посадкових місць для компонентів, створених в бібліотеці УГП. Це можна здійснити за допомогою утиліти AD Footprint Wizard або ж скачати уже готову бібліотеку посадкових місць для необхідного компонента. Більшість посадкових місць створено на базі існуючих моделей, проте для деяких елементів довелося скористатися згаданою утилітою.

Після створення посадкових місць додано 3-Д моделі компонентів. Їх можна створити самому або імпортувати з файлу з розширенням *.step [28]. Оскільки існує безліч готових 3-Д моделей для всіх компонентів, використаних в проєкті, то прийнято рішення використати готові моделі.

Створення схеми електричної принципової. На основі раніше створеної бібліотеки УГП створено схему електричну, на якій у чітко визначеній послідовності розташовані компоненти та з'єднання між ними.

Створення файлу друкованої плати. На основі схеми електричної принципової та бібліотеки посадкових місць створено друковану плату, де одразу почали відображатись зв'язки між компонентами, які відповідали зв'язкам між ними на схемі електричній принциповій.

Наступним етапом після цього етапу є задання правил трасування плати.

Після завершення виконання всіх налаштувань розміщено компоненти схеми в просторі майбутньої друкованої плати, дотримуючись алгоритму розташування компонентів, наведеному в розділі 4.4.

Після розміщення здійснено трасування провідників ДП. Цю операцію можна виконати вручну, або ж скористатися утилітою меню AutoRoute. Так як середовище AD не завжди правильно та раціонально виконує автотрасування,

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

іноді ігноруючи правила та вимоги, притаманні обраному класу точності, то прийнято рішення здійснити трасування вручну.

Висновки до розділу

В даному розділі проведено вибір та обґрунтування типу та матеріалу, з якого буде виготовлена ДП. В підсумку обрано двошарову ДП, створену з матеріалу FR4-2-35-1.5. Даний матеріал часто використовується для створення ДП, оскільки він має багато переваг в технологічних характеристиках. Для виготовлення ДП обрано комбінований позитивний метод.

Обрано четвертий клас точності для створення ДП, так як він забезпечує необхідні мінімальні умови для певних компонентів, такі як, наприклад, щільність монтажу та відстань між контактними майданчиками.

Проведено розміщення компонентів у монтажному просторі ДП. Виходячи з необхідності забезпечення зручності у використанні та естетичності, кнопки керування та модуль камери були розташовані посередині монтажного простору. Орієнтуючись на розташування цих компонентів та їх зв'язки з іншими компонентами, розміщено всі елементи схеми, крім дискретних. Пізніше вони були розміщені або на зворотній стороні плати, або на вільних ділянках. Конденсатори були розміщені якомога ближче до контактів живлення, так як вони виконують функцію фільтрування напруги.

На основі вищеперерахованих даних створено проєкт в середовищі Altium Designer, в якому були послідовно створені: бібліотека УГП; бібліотека посадкових місць та 3-Д моделей; схема електрична принципова; друкована плата. На етапі розробки ДП проведено ручне трасування друкованих провідників.

В підсумку розташування компонентів та трасування друкованих провідників можна вважати вдалим.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1 Загальний алгоритм обробки даних

Основний програмний блок виконує функції налаштування периферії, підключених модулів, а також керує прийомом та передачею кадру з модуля відеокамери на модуль Wi-Fi.

Головні операції проходять в мікроконтролері STM32F429ZIT6, який керує модулем відеокамери за допомогою шини SCCB (I2C) та приймає кадри з модуля в режимі реального часу. Після обробки даних, отриманих з модуля камери, контролер DMA надсилає зображення в буфер FIFO. Використання буферу обумовлене тим, що під час передачі TCP пакетів неминуче виникають помилки, і TCP пакет відправляється повторно. Якщо помилок при передачі немає або їх дуже мало, то внутрішній буфер модуля Wi-Fi буде працювати нормально, однак якщо помилок передачі стає занадто багато, то внутрішній буфер модуля Wi-Fi буде заповнений відправленими пакетами, які не відправились раніше через помилку. Як тільки він буде переповниться, модуль не буде відправляти кадри, які не відправились через помилку, тому що вони будуть втрачені. Щоб не втратити дані з камери вони накопичуються в буфері FIFO.

З буфера FIFO зображення надсилається по інтерфейсу UART на модуль Wi-Fi, а звідти на віддалений веб-сервер.

Відповідно, алгоритм роботи пристрою зображений на рисунку 5.1.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 5.1 – Алгоритм роботи пристрою

5.2 Налаштування та алгоритм роботи мікроконтролера

Суть роботи мікроконтролера як керуючого пристрою – налаштувати всі необхідні для роботи порти та периферію. Він буде зчитувати дані з модуля відеонаблюдення по шині I2C, обробляти їх через DCMІ інтерфейс, за допомогою контролера DMA зберігати в пам'ять FIFO та відправляти на модуль Wi-Fi через паралельний інтерфейс UART для подальшої передачі на веб-сервер. Крім цього, мікроконтролер буде використовувати зовнішній генератор тактової частоти.

[illegible]

Для наглядності в таблиці 5.1 наведено призначення та налаштування кожного використаного порту мікроконтролера. Для зручності вказано до якої саме периферії налаштовано той чи інший порт.

					<div style="text-align: center;"> <i>ДК61.463121.001 ПЗ</i> </div>	Аркуш
						66
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Порт	Мітка порту	Призначення	Налаштування вхід/вихід	Периферія
PA4	DCMI_HSYNC	Синхронізація по рядкам	Вхід	Модуль відеокамери
PA6	DCMI_PXCLK	тактовий імпульс видачі байту з паралельного порту D[7..0]	Вхід	
PA8	RCC_MCO_1	головний тактовий імпульс для роботи модуля відеокамери	Вихід	
PB7	DCMI_VSYNC	Синхронізація по кадру	Вхід	
PB10	I2C2_SCL	тактовий сигнал послідовного інтерфейсу SCCB	Вихід	
PB11	I2C2_SDA	інформаційний сигнал послідовного інтерфейсу SCCB	Вхід/Вихід	
PC6	DCMI_D0	8-ми бітна паралельна шина даних з модуля відеокамери	Вхід	
PC7	DCMI_D1		Вхід	
PC8	DCMI_D2		Вхід	
PC9	DCMI_D3		Вхід	
PB6	DCMI_D5		Вхід	
PE4	DCMI_D4		Вхід	
PE5	DCMI_D6		Вхід	
PE6	DCMI_D7		Вхід	
PB13	USART3_CTS	Контроль запиту на відправку кадру	Вхід	Модуль Wi-Fi
PC10	USART3_TX	Відправка кадру на модуль Wi-Fi	Вихід	
PC11	USART3_RX	Прийом даних з модуля Wi-Fi	Вхід	
PH0	RCC_OSC_IN	Зовнішнє тактування мікроконтролера	Вхід	Модуль налаштування системи тактування
PH1	RCC_OSC_OUT		Вихід	

Також налаштовано контролер пам'яті DMA, який необхідно налаштувати для збереження даних, отриманих з інтерфейсу DCMI. Налаштування контролеру DMA зображено на рисунку 5.2.

Peripheral		Memory
Mode: Circular	Increment Address: <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Use Fifo: <input checked="" type="checkbox"/> Threshold: Full	Data Width: Word	Word
Burst Size: Single		Single

Рисунок 5.3 – Налаштування контролеру DMA

Як можна бачити, контролер DMA буде працювати в режимі Circular, або циклічному режимі, тобто він буде займатися передачею даних циклічно без зупинки. Дані, оброблені контролером DMA будуть передаватися в буфер FIFO, звідки поступатиме на інтерфейс UART.

Після завершення налаштування портів мікроконтролера можна перейти до створення програмного забезпечення. Це можна здійснити за допомогою інтегрованого в STM32CubeMX середовища розробки програмного забезпечення STM32CubeIDE, або за допомогою середовища розробки μ Vision IDE [30] [31]. Скористаємось середовищем розробки μ Vision IDE, вибравши відповідний пункт при автоматичній генерації програмного коду оскільки там дуже зручно налаштовувати мікроконтролер та створювати програмне забезпечення. Оскільки ініціалізація та налаштування периферії I2C, DCMI, UART, DMA, RCC відбулося в середовищі STM32CubeMX, то залишилось налаштувати лише модуль відеокамери та модуль Wi-Fi.

Код ініціалізації та налаштування мікроконтролера наведено в додатку Г.

5.3 Алгоритм роботи модуля відеокамери

Для ініціалізації модуля камери необхідно до основного виконуваного файлу, згенерованого середовищем STM32CubeMX, підключити функцію ініціалізації інтерфейсу SCCB контролю над режимами роботи камери, а також DCMI. В них реалізовано всі необхідні налаштування, а також закладено різні режими роботи для модуля відеокамери.

Код ініціалізації та налаштування модуля відеокамери наведено в додатках В, Г.

5.4 Алгоритм роботи модуля Wi-Fi

Алгоритм взаємодії модулю Wi-Fi з мікроконтролером описаний в програмі, наведений в додатку Б, декількома функціями прийому, передачі масиву, а також очищення зовнішнього буферу від переповнення, так як модуль не стане надсилати зображення на веб-сервер за умови переповнення. Якщо дана умова виконується, то зображення надсилається через UART на модуль, звідки через Wi-Fi передається на веб-сервер. Крім цього, в файлі програми описано етап підключення модуля ESP-01 до віддаленого веб-сервера.

Більш детально необхідно зупинитися на передачі зображення з мікроконтролера на модуль Wi-Fi через інтерфейс UART. Згідно лістингу, наведеного в додатку Б, задання швидкості передачі даних `uart_baud` відбувається за допомогою так званих AT-команд. Для модуля ESP-01, використаного в роботі вони визначені у ESP8266 AT Instruction Set [32].

Маємо, що для налаштування UART для поточної сесії використовується наступна команда:

AT+UART_CUR=<baudrate>,<databits>,<stopbits>,<parity>,<flow control>,
де `baudrate` – величина, яка відповідає за швидкість передачі даних

Згідно з документацією, значення цієї величини може варіюватися від 110 до 115200*40 бод.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Тобто, взявши baudrate = 115200, отримаємо, що для інтерфейсу UART модуля ESP-01 максимальна швидкість передачі даних становитиме ~4,4 Мбіт;

Згідно з вимогами, наведеними в ТЗ, камера повинна працювати в режимі роботи VGA (640x480 пікселів), тобто максимальна частота відтворення переданих зображень за певних умов може становити 30 кадрів в секунду.

Розрахуємо пропускну здатність необхідну для передачі 30 кольорових кадрів в секунду для формату VGA (640x480 пікселів) та кодування кольору зображення RGB565, для якого використовуються 16 біт пам'яті.

Маємо:

$$V = 30 * 640 * 480 * 2 * 8 = 147\,456\,000 \cong 140 \text{ (Мбіт)}. \quad (5.1)$$

Звідси виходить, що для передачі зображення формату VGA пропускну здатність буде дуже високою для інтерфейсу UART, реалізованого в модулі камери. З цього випливає, що якимось чином необхідно зменшити пропускну здатність. Для цього можна:

- стиснути зображення;
- надсилати зображення меншого формату.

Найлегшим способом буде надсилати зображення меншого формату, однак недоліком цього методу буде зображення низької якості на виході пристрою.

Тому, необхідно провести операції щодо стиснення зображення. Згідно з лістингу, наведеного в додатку Г, здійснено стиснення вихідного зображення з розмірністю 640x480 пікселів до 160x120 пікселів.

Перерахуємо пропускну здатність необхідну для передачі 30 кольорових кадрів в секунду для формату VGA.

Маємо:

$$V = 30 * 160 * 120 * 2 * 8 = 9\,216\,000 \cong 8.79 \text{ (Мбіт)}. \quad (5.2)$$

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Звідси за пропорцією шукаємо значення кількості кадрів в секунду для такої швидкості.

Маємо:

$$V_{fps} = \frac{4.4}{8.79} * 30 \cong 15 \text{ (к/с)}. \quad (5.3)$$

Отже, якщо ще стискати зображення, то отримаємо, що його вихідна роздільна здатність буде дуже малою, проте швидкість відтворення підвищиться. Тому швидкість відтворення в 15 кадрів в секунду для кольорового зображення можна вважати прийнятною та оптимальною. Досягнути швидкості 30 кадрів в секунду можна, якщо для глибини кольору зображення замість RGB565 використовувати інші, більш економні типи кодування кольору (Raw RGB, YCbCr, і т.д.)

У Додатках Б, Д наведені лістинги програм ініціалізації інтерфейсу UART для модуля Wi-Fi, а також підключення модуля до веб-серверу.

Висновки до розділу

У даному розділі розглянуто загальний принцип роботи алгоритму алгоритм отримання і обробки даних. Також налаштовано порти мікроконтролера в середовищі STM32CubeMX. Описано функцію кожного ініціалізованого порту. Наведено основні принципи, алгоритм роботи з модулем камери та модулем Wi-Fi, так як вони є найбільш важливими елементами схеми.

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проєкті розроблено блок відображення даних з відеокамери згідно з вимогами, наведеними у технічному завданні. В ході виконання проєкту для пристрою розроблено схему електричну принципову, друкований вузол, а також програмне забезпечення.

Розглянуто принцип роботи модуля відеокамери, також в ході патентного пошуку між собою проведено порівняння декількох існуючих рішень. В результаті аналізу готових рішень вирішено розробити блок відображення даних з відеокамери з сучасною елементною базою, що позбавило б недоліків, наявних у його аналогів. Вирішено використовувати більшість схемотехнічних рішень та основних функцій за допомогою мікроконтролера.

Розроблено структурну схему пристрою, що розробляється. Для коректного функціонування схема повинна містити такі блоки, як модуль відеокамери, керуючий мікроконтролер, модуль з Wi-Fi прийомо-передавачем, блок живлення, віддалений веб-сервер. Відповідно до потреб структурної схеми та вимог, наведених в технічному завданні, проведено вибір елементної бази. На основі обраної елементної бази та структурної схеми створено схему електричну принципову. Для забезпечення коректного функціонування схеми проведено розрахунок окремих елементів схеми, таких як конденсатори та резистори. Створена схема електрична принципова відповідає вимогам, наведеним в технічному завданні та забезпечує правильну роботу пристрою.

Проведено розрахунки, які дали змогу підтвердити правильність вибору конструкторсько-технологічних рішень. Розрахунки ширини доріжок, контактних майданчиків та діаметрів отворів задовольняють обраному четвертому класу точності, тому конструктивні рішення можна вважати правильними. В ході проведення електричного розрахунку плати розраховано падіння напруги на найдовшому провіднику, яке склало 27 мВ, що лежить в межах норми. Розрахунок діелектричних втрат показав значення 7.18 пВт для низьких частот (1 Гц) та 57.5 мкВт для високих частот (8 МГц), тобто даною

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

величиною можна знехтувати, так як вона не зробить суттєвого впливу на друкований вузол. Розраховані значення паразитної ємності (42.95 пФ) та індуктивності (19 пГн) вказують на те, що вони також не впливатимуть на роботу схеми. Обчислено середній час напрацювання на відмову, який склав 111644 год, і повністю задовольняє вимоги, наведені в ТЗ (30000 год). В результаті розрахунку віброміцності плати отримано власну частоту коливань плати $f_{влас} = 594$ Гц. Відповідно, конструкцію плати можна вважати абсолютно жорсткою. Розрахунок теплового режиму лінійного стабілізатора напруги показав, що при температурі навколишнього середовища 50°C температура кристалу складає 104°C, тобто таке значення можна вважати прийнятним.

Проведено вибір типу друкованої плати, а також матеріалу, з якого вона виготовлена. Обрано двошарову друковану плату, матеріалом являється FR4-2-35-1.5. Друкований вузол буде вироблятися комбінованим позитивним методом, притримуючись вимог четвертого класу точності. Проведено розміщення компонентів в монтажному просторі ДП опираючись на особливості функціонування схеми та зв'язаності певних компонентів. Проведено трасування друкованих провідників в середовищі Altium Designer. Можна зробити висновок, що розроблений друкований вузол відповідає вимогам ТЗ.

Здійснено розробку алгоритму програмного забезпечення для взаємодії та правильної роботи компонентів електричної схеми. В середовищі STM32CubeMX налаштовано периферію мікроконтролера та надано пояснення щодо призначення кожного необхідного для роботи порту. Також наведено алгоритм та принцип роботи модуля камери і модуля Wi-Fi.

Отже, в ході виконання дипломного проєкту розроблено необхідну конструкторську документацію для блоку відображення даних з відеокамери. Проєкт виконано в повному обсязі, всі проведені розрахунки підтверджують працездатність пристрою та задовольняють вимогам ТЗ.

Для апробації пристрою підготовлено статтю на тему дипломного проєкту для науково-технічної конференції молодих вчених «Електроніка-2020». Матеріали наведені в додатку Е.

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. OV7670/OV7171 CMOS VGA (640X480) CameraChip Implementation Guide. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/y7rms9nc>
2. Digital camera interface (DCMI) for STM32 MCUs. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/ybu6y4cw>
3. Is RGB better than YCbCr. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/yas33sz6>
4. Видеокамера OV7670. Введение. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/ybmhcfh2>
5. Flexible Camera Interface Solution. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/yaukvv8u>
6. Camera Video Recorder. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/y7ds3v59>
7. Dynamic range video recording and playback system and method. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/yd5fgsro>
8. BASICS OF UART COMMUNICATION. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/y889omn2>
9. Communication peripheral FIFO emulation with DMA and DMA timeout in STM32F10x microcontrollers. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/y8mjxlj7>
10. Using Direct Memory Access (DMA) in STM32 projects. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/yasds953>
11. Тактовый генератор. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/y7ywhy42>

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						74
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- 12.Создание веб-сервера ESP8266 - код и схемы. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/yck8tmne>
- 13.0805 Datasheet (PDF) - Kemet Corporation. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/yd8mcyjl>
- 14.WCAP-CSGP Ceramic Capacitors. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/yayeev6k>
- 15.HC49S Datasheet (PDF) - IQD Frequency Products Ltd. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/yc33xrf4>
- 16.RM0090 Reference manual STM32F405/415, STM32F407/417, STM32F427/437 and STM32F429/439 advanced Arm®-based 32-bit MCUs . [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/yaf5otwd>
- 17.ESP-01 WiFi Module. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/yxbfsuj2>
- 18.LM1117 800-mA Low-Dropout Linear Regulator. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/ycd4wote>
- 19.IT-1102 Series. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/ycpwh38v>
- 20.DS04-254-SMT DIP SWITCH Datasheet. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/yblsny57>
- 21.Pierce-gate oscillator crystal load calculation. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/y4nlew34>
- 22.I2C Bus Pullup Resistor Calculation. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/yaxbcevv>
- 23.0805 Multilayer Ferrite Chip Bead. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/y6uy3jqb>

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		75

- 24.Дребезг контактов, и как с ним бороться. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/ya82fboq>
- 25.Static random-access memory. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/kt38343>
- 26.Губар В.Г. Курс лекцій по ФТОК. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/yaf9foup>
- 27.Класи точності друкованих плат. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/ybd3vhot>
- 28.About STEP Files. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/y9h9j8fj>
- 29.“STM32CubeMX.” [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/yxvx3wfo>
- 30.“STM32CubeIDE.” [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/y35rw6mz>
- 31.“µVision IDE.” [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/y7mf2x6c>
- 32.“ESP8266 AT Instruction Set” [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tinyurl.com/y7m263my>

ГОСТ 12.2.007-75 Система стандартов безопасности труда ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ Общие требования безопасности

ГОСТ 15150-69 МАШИНЫ, ПРИБОРЫ И ДРУГИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 23571-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Основные параметры конструкции

ГОСТ 23752-79 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Общие технические условия

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		76

ГОСТ 27.002-83 Надежность в технике. Термины и определения

ГОСТ 28884-90 РЯДЫ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ РЕЗИСТОРОВ И КОНДЕНСАТОРОВ

ГОСТ 29137-91 ФОРМОВКА ВЫВОДОВ И УСТАНОВКА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ НА ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ Общие требования и нормы конструирования

ГОСТ Р 50621-93 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ ОДНО- И ДВУСТОРОННИЕ С НЕМЕТАЛЛИЗИРОВАННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ Общие технические требования

ДСТУ 3008:2015 ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ Структура та правила оформлювання

ДСТУ 2646-94 ПЛАТИ ДРУКОВАНІ Терміни та визначення

ОСТ 4.010.022 – 85 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Методы конструирования и расчёта

					ДК61.463121.001 ПЗ	Аркуш
						77
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічне завдання на проєктування

1. Найменування та галузь використання

Блок відображення даних з відеокамери. Використовується для показу зображень, одержаних з модуля відеокамери на віддаленому веб-сервері

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проєкт згідно з наказом № 1196-с від 25.05.2020 року

Мета і призначення розробки

Метою є розробка блоку відображення даних з відеокамери, який мав би змогу приймати зображення з оптичного сенсора з роздільною здатністю 640 x 480 пікселів. Зображення з відеокамери має пройти обробку на мікроконтролері та відображатись на веб-сервері в режимі реального часу.

3. Технічні вимоги

3.1. Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється

Пристрій являє собою моноблочну конструкцію, що містить друкований вузол з роз'ємом для акумулятора. Такі компоненти як мікроконтролер, модуль відеокамери, модуль Wi-Fi, та інші активні та пасивні елементи розташовані безпосередньо на друкованій платі та розміщені за допомогою наскрізного або поверхневого монтажу. Відображення отриманих даних забезпечується за допомогою віддаленого веб-серверу.

3.2. Показники призначення

Пристрій повинен забезпечувати:

- Зняття оптичної камери;
- Цифрову обробку отриманих даних;
- Виведення зчитаних результатів на веб-сервері.

3.3. Вимоги до надійності

Середній час напрацювання на відмову повинен бути не менше 30000 год, оскільки пристрій, що розробляється, є лише друкованим вузлом.

3.4. Вимоги до технологічності

Орієнтовані на використання сучасної компонентної бази.

3.5. Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації

Для виготовлення пристрою передбачається максимальне застосування стандартних, уніфікованих деталей та виробів.

3.6. Вимоги безпеки обслуговування

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-75.

3.7. Вимоги до складальних частин виробу, сировини, вихідних й експлуатаційних матеріалів

Для виробництва пристрою використовують матеріали імпортного виробництва, для яких можна знайти вітчизняні аналоги.

3.8. Умови експлуатації

Кліматичне виконання УХЛ 1.1 по ГОСТ 15150-69.

3.9. Вимоги до транспортування і зберігання

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Зберігати в зачинених, опалювальних та вентильованих приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря +5...+40°C, відносна вологість повітря 60% при 20°C (середньорічне значення), атмосферний тиск 84...106кПа.

Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту в спеціальній транспортній тарі.

3.10. Додаткові технічні вимоги

Технічні характеристики:

Температурний режим роботи	-25°C ... +50°C
Габаритні розміри	не більше 150x100x10 мм
Маса	не більше 100 г
Живлення	5 В

У якості оптичного сенсора використати відеокамеру OV7670.

Пристрій повинен бути портативним та живитися від літій-іонного акумулятора або батареї.

4. Результати роботи

5.1. Результати даної роботи можуть бути використані як вихідна документація по створенню прототипу пристрою, його налагодження й подальшого впровадження в серійне виробництво.

5.2. Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації.

6. Робота повинна містити в собі документи:

- Пояснювальну записку (формату А4, до 100 аркушів)
- Схему електричну принципову та перелік елементів (формату А2, А4 відповідно)
- Складальне креслення та специфікацію (формату А2, А4 відповідно)
- Креслення друкованої плати (формату А2)
- Додатки (формату А4)

8. Економічні показники

В умовах даного проєкту не розглядаються.

9. Етапи розробки

№ п/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Час виконання етапів проєкту
1	Розробка технічного завдання	09.03.20-17.03.20
2	Аналіз технічного завдання	17.03.20-4.04.20
3	Схемотехнічне проєктування	4.04.20-17.04.20
4	Вибір елементної бази та друкованої плати	17.04.20-21.04.20
5	Виконання креслення схеми електричної принципової	21.04.20-30.04.20
6	Проєктування у Altium Designer	30.04.20-8.05.20
7	Конструкторсько-технологічні розрахунки	8.05.20-13.05.20
8	Електричний розрахунок друкованої плати	13.05.20-16.05.20
9	Виконання креслення друкованої плати	16.05.20-18.05.20
10	Виконання складального креслення друкованого вузла	18.05.20-20.05.20
11	Оформлення пояснювальної записки	20.05.20-8.06.20

Додаток Б – Програма підключення модулю ESP-01 до веб-серверу

```
#include "esp_01.h"
#include <string.h>
#include <stdio.h>
#include "stm32f4xx_usart.h"

#define RX_BUF_SIZE 256
#define RX_BUF_MASK RX_BUF_SIZE-1

char rx_buf[RX_BUF_SIZE];
u32 rx_len;
volatile u16 rx_pos=0;
const char at_test[] = "AT\r\n";
const char echoOff[] = "ATE0\r\n"; //6 disable repetition of entered commands
const char restore [] = "AT+RESTORE\r\n"; //Restore factory default settings
const char uart_baud [] = "AT+UART_CUR=115200,8,1,0,0\r\n" ;//Baudrate range
const char station_mode [] = "AT+CWMODE=1\r\n"; //station mode
const char disconnectAP [] = "AT+ CWQAP\r\n";
const char conect_AP_status [] = "AT+CWJAP?\r\n";
const char NoMultConn[] = "AT+CIPMUX=0\r\n";
const char rst [] = "AT+RESTORE\r\n";
const char get_IP [] = "AT+CIFSR\r\n";
const char conn_TCP [] = "AT+CIPSTART=\"TCP\", \"82.209.230.70\",88\r\n";
const char send_TSP [] = "AT+CIPSEND=";
const char getStream [] = "GET /europaplus HTTP/1.1\r\n\r\n";
//-----USART1_IRQHandler-----//
void USART3_IRQHandler(void)
{
    unsigned char rx_b;
    if ((USART3->SR & USART_FLAG_RXNE) != (u16)RESET)
    {
        rx_b = USART_ReceiveData(USART3);
```

```

        //printf("%c",rx_b);

        rx_buf[rx_pos++]=rx_b;//extern
        rx_pos &= RX_BUF_MASK;

        //rx_len++;

    }
}

void clear_rx_buf(void){
    for(;rx_pos!=0;rx_pos--)rx_buf[rx_pos]='\0';
}

//=====usart1_send_string=====//
void usart3_send_string(const char* str) {
    clear_rx_buf();
    while(*str){
        USART_SendData(USART3,*str++);
        while(USART_GetFlagStatus(USART3, USART_FLAG_TC) == RESET);
//wait till the end of transmission
    }
    rx_pos=0;
}

//=====usart1_send_buf=====//
void usart3_send_buf(uint8_t* buf, uint16_t len) {
    while(len--){
        USART_SendData(USART3,*buf++);
        while(USART_GetFlagStatus(USART3, USART_FLAG_TC) == RESET);
//wait till the end of transmission
    }
}

//-----usart_recive_str-----//
void usart3_recive_str(char* str){
    while((USART3->SR & USART_SR_RXNE)==0) {} /wait for receiving
    rx_pos++; //last symbol in buffer

```

```
*str = USART3->DR;  
while(*str){  
    rx_pos++;  
    str++;  
    while((USART3->SR & USART_SR_RXNE)==0) {} //wait for receiving  
    *str = USART3->DR;  
}  
}
```

Додаток В – Програма ініціалізації шини SCCB

```
#include "camera/SCCB.h"
```

```
__IO uint32_t DCMI_TIMEOUT_MAX = SCCB_Open407V_FLAG_TIMEOUT;
```

```
void SCCB_GPIO_Config(void)
```

```
{
```

```
    I2C_InitTypeDef SCCB_InitStructure;
```

```
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
```

```
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(Open407V_SCCB_SDA_GPIO_CLK |  
Open407V_SCCB_SCL_GPIO_CLK,ENABLE);
```

```
    RCC_APB1PeriphClockCmd(Open407V_SCCB_CLK,ENABLE);
```

```
    GPIO_PinAFConfig(Open407V_SCCB_SDA_GPIO_PORT,  
Open407V_SCCB_SDA_SOURCE, Open407V_SCCB_SDA_AF);
```

```
    GPIO_PinAFConfig(Open407V_SCCB_SCL_GPIO_PORT,  
Open407V_SCCB_SCL_SOURCE, Open407V_SCCB_SCL_AF);
```

```
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = Open407V_SCCB_SDA_PIN |  
Open407V_SCCB_SCL_PIN;
```

```
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
```

```
    GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_OD;
```

```
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
```

```
    GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;
```

```
    GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);
```

```
    I2C_DeInit(Open407V_SCCB);
```

```
    SCCB_InitStructure.I2C_Mode = I2C_Mode_I2C;
```

```

    SCCB_InitStructure.I2C_DutyCycle = I2C_DutyCycle_2;
    SCCB_InitStructure.I2C_OwnAddress1 = SCCB_SLAVE_ADDRESS7;
    SCCB_InitStructure.I2C_Ack = I2C_Ack_Enable;
    SCCB_InitStructure.I2C_AcknowledgedAddress =
I2C_AcknowledgedAddress_7bit;
    SCCB_InitStructure.I2C_ClockSpeed = SCCB_SPEED;

    I2C_Init(Open407V_SCCB, &SCCB_InitStructure);
    I2C_Cmd(Open407V_SCCB, ENABLE);
    I2C_AcknowledgeConfig(Open407V_SCCB, ENABLE);
}

uint8_t DCMI_SingleRandomWrite(uint8_t Reg, uint8_t Data)
{
    uint32_t timeout = DCMI_TIMEOUT_MAX;

    /* Generate the Start Condition */
    I2C_GenerateSTART(Open407V_SCCB, ENABLE);

    /* Test on I2C2 EV5 and clear it */
    timeout = DCMI_TIMEOUT_MAX; /* Initialize timeout value */
    while(!I2C_CheckEvent(Open407V_SCCB,
I2C_EVENT_MASTER_MODE_SELECT))
    {
        /* If the timeout delay is exeeded, exit with error code */
        if ((timeout--) == 0) return 0xFF;
    }

    /*-----*/
    /* Send DCMI selcted device slave Address for write */
    I2C_Send7bitAddress(Open407V_SCCB, OV2640_DEVICE_WRITE_ADDRESS,
I2C_Direction_Transmitter);

```

```

/* Test on I2C2 EV6 and clear it */
timeout = DCMI_TIMEOUT_MAX; /* Initialize timeout value */
while(!I2C_CheckEvent(Open407V_SCCB,
I2C_EVENT_MASTER_TRANSMITTER_MODE_SELECTED))
{
    /* If the timeout delay is exeeded, exit with error code */
    if ((timeout--) == 0) return 0xFF;
}
/*-----*/
/* Send I2C2 location address LSB */
I2C_SendData(Open407V_SCCB, (uint8_t)(Reg));

/* Test on I2C2 EV8 and clear it */
timeout = DCMI_TIMEOUT_MAX; /* Initialize timeout value */
while(!I2C_CheckEvent(Open407V_SCCB,
I2C_EVENT_MASTER_BYTE_TRANSMITTED))
{
    /* If the timeout delay is exeeded, exit with error code */
    if ((timeout--) == 0) return 0xFF;
}
/*-----*/
/* Send Data */
I2C_SendData(Open407V_SCCB, Data);

/* Test on I2C2 EV8 and clear it */
timeout = DCMI_TIMEOUT_MAX; /* Initialize timeout value */
while(!I2C_CheckEvent(Open407V_SCCB,
I2C_EVENT_MASTER_BYTE_TRANSMITTED))
{
    /* If the timeout delay is exeeded, exit with error code */

```

```

    if ((timeout--) == 0) return 0xFF;
}
/*-----*/
/* Send I2C2 STOP Condition */
I2C_GenerateSTOP(Open407V_SCCB, ENABLE);

/* If operation is OK, return 0 */
return 0;
}

uint8_t DCMI_SingleRandomRead(uint8_t Reg, uint8_t *Data)
{
    uint32_t timeout = DCMI_TIMEOUT_MAX;

    /* Clear AF flag if arised */
    I2C2->SR1 |= (uint16_t)0x0400;

    /* Generate the Start Condition */
    I2C_GenerateSTART(Open407V_SCCB, ENABLE);

    /* Test on I2C2 EV5 and clear it */
    timeout = DCMI_TIMEOUT_MAX; /* Initialize timeout value */
    while(!I2C_CheckEvent(Open407V_SCCB,
I2C_EVENT_MASTER_MODE_SELECT))
    {
        /* If the timeout delay is exeeded, exit with error code */
        if ((timeout--) == 0) return 0xFF;
    }
    /*-----*/

    /* Send DCMI selcted device slave Address for write */

```

```
I2C_Send7bitAddress(Open407V_SCCB, OV2640_DEVICE_READ_ADDRESS,  
I2C_Direction_Transmitter);
```

```
/* Test on I2C2 EV6 and clear it */  
timeout = DCMI_TIMEOUT_MAX; /* Initialize timeout value */  
while(!I2C_CheckEvent(Open407V_SCCB,  
I2C_EVENT_MASTER_TRANSMITTER_MODE_SELECTED))  
{  
    /* If the timeout delay is exeeded, exit with error code */  
    if ((timeout--) == 0) return 0xFF;  
}  
/*-----*/  
/* Send I2C2 location address LSB */  
I2C_SendData(Open407V_SCCB, (uint8_t)(Reg));  
  
/* Test on I2C2 EV8 and clear it */  
timeout = DCMI_TIMEOUT_MAX; /* Initialize timeout value */  
while(!I2C_CheckEvent(Open407V_SCCB,  
I2C_EVENT_MASTER_BYTE_TRANSMITTED))  
{  
    /* If the timeout delay is exeeded, exit with error code */  
    if ((timeout--) == 0) return 0xFF;  
}  
  
/* Clear AF flag if arised */  
I2C2->SR1 |= (uint16_t)0x0400;  
/*-----*/  
/* Prepare Stop after receiving data */  
I2C_GenerateSTOP(Open407V_SCCB, ENABLE);  
  
/*-----*/
```



```

/* Generate the Start Condition */
I2C_GenerateSTART(Open407V_SCCB, ENABLE);

/* Test on I2C2 EV6 and clear it */
timeout = DCMI_TIMEOUT_MAX; /* Initialize timeout value */
while(!I2C_CheckEvent(Open407V_SCCB,
I2C_EVENT_MASTER_MODE_SELECT))
{
    /* If the timeout delay is exeeded, exit with error code */
    if ((timeout--) == 0) return 0xFF;
}

/*-----*/

/* Send DCMI selcted device slave Address for write */
I2C_Send7bitAddress(Open407V_SCCB, OV2640_DEVICE_READ_ADDRESS,
I2C_Direction_Receiver);

/* Test on I2C2 EV6 and clear it */
timeout = DCMI_TIMEOUT_MAX; /* Initialize timeout value */
while(!I2C_CheckEvent(Open407V_SCCB,
I2C_EVENT_MASTER_RECEIVER_MODE_SELECTED))
{
    /* If the timeout delay is exeeded, exit with error code */
    if ((timeout--) == 0) return 0xFF;
}

/*-----*/

/* Prepare an NACK for the next data received */
I2C_AcknowledgeConfig(Open407V_SCCB, DISABLE);

/* Test on Open407V_SCCB EV7 and clear it */
timeout = DCMI_TIMEOUT_MAX; /* Initialize timeout value */

```

```

while(!I2C_CheckEvent(Open407V_SCCB,
I2C_EVENT_MASTER_BYTE_RECEIVED))
{
    /* If the timeout delay is exeeded, exit with error code */
    if ((timeout--) == 0) return 0xFF;
}
/*-----*/
/* Prepare Stop after receiving data */
I2C_GenerateSTOP(Open407V_SCCB, ENABLE);

/*-----*/
/* Receive the Data */
*Data = I2C_ReceiveData(Open407V_SCCB);
/* Clear AF flag if arised */
I2C2->SR1 |= (uint16_t)0x0400;

/* return the read data */
return 0;
}

```

Додаток Г – Програма налаштування мікроконтролера та ініціалізації інтерфейсу DCMI

```
#include "camera/dcmi_OV7670.h"
#include "camera/DCMI_OV7670_INITTABLE.h"
#include "stm32f4xx_dcmi.h"

static void Delay(uint32_t nTime);
static void Delay_ms(uint32_t nTime);
uint8_t JpegBuffer[1024*33];

void EXTI_Config(void) //NOT USING
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
    NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;
    EXTI_InitTypeDef EXTI_InitStructure;

    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOB, ENABLE);
    RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_SYSCFG, ENABLE);

    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_100MHz;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_IN;
    GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_15;
    GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);

    SYSCFG_EXTILineConfig(EXTI_PortSourceGPIOB, EXTI_PinSource15);
```

```
EXTI_InitStructure.EXTI_Line = EXTI_Line15;
EXTI_InitStructure.EXTI_Mode = EXTI_Mode_Interrupt;
```

```
EXTI_InitStructure.EXTI_Trigger = EXTI_Trigger_Falling;
EXTI_InitStructure.EXTI_LineCmd = ENABLE;
EXTI_Init(&EXTI_InitStructure);
```

```
NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_0);
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = EXTI15_10_IRQn;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 1;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;
NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
```

```
}
```

```
void OV7670_DCMI_Config(void)
```

```
{
```

```
DCMI_InitTypeDef DCMI_InitStructure;
GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
// DMA_InitTypeDef DMA_InitStructure;
NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;
/* Enable DCMI GPIOs clocks */
```

```
RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOA |
RCC_AHB1Periph_GPIOB | RCC_AHB1Periph_GPIOC |
                        RCC_AHB1Periph_GPIOD | RCC_AHB1Periph_GPIOE |
RCC_AHB1Periph_GPIOI, ENABLE);
```

```
/* Enable DCMI clock */
```

```
RCC_AHB2PeriphClockCmd(RCC_AHB2Periph_DCMI, ENABLE);
```

```
/* Connect DCMI pins to AF13
```

```
*****/
```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOA, GPIO_PinSource6, GPIO_AF_DCMI);//PCLK+
```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOA, GPIO_PinSource4, GPIO_AF_DCMI);//HSYNK+
```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOB, GPIO_PinSource6, GPIO_AF_DCMI);//D5
```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOB, GPIO_PinSource7, GPIO_AF_DCMI);//VSYNK+
```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOC, GPIO_PinSource6, GPIO_AF_DCMI);//D0+
```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOC, GPIO_PinSource7, GPIO_AF_DCMI);//D1+
```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOC, GPIO_PinSource8, GPIO_AF_DCMI);//D2+
```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOC, GPIO_PinSource9, GPIO_AF_DCMI);//D3+-
```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOE, GPIO_PinSource6, GPIO_AF_DCMI);//D7+
```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOE, GPIO_PinSource5, GPIO_AF_DCMI);//D6+
```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOE, GPIO_PinSource4, GPIO_AF_DCMI);//D4-
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_100MHz;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP ;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_4 | GPIO_Pin_5 | GPIO_Pin_6 ;
```

```
//!!!!!!!!! GPIO_Pin_4 - D4
```

```
GPIO_Init(GPIOE, &GPIO_InitStructure);
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_6 | GPIO_Pin_7 | GPIO_Pin_8 |
```

```
GPIO_Pin_9;|| GPIO_Pin_11; //D0 D1 D4 !!!!
```

```
GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStructure);
```

```

GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_4;
GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStructure);
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_6 | GPIO_Pin_7; //D5!!!!!!!!, VSYNC
GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);

/* PCLK(PA6) */
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_6;
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStructure);

/* DCMI configuration
*****/
DCMI_InitStructure.DCMI_CaptureMode =
DCMI_CaptureMode_SnapShot;//DCMI_CaptureMode_Continuous
DCMI_InitStructure.DCMI_SynchroMode =
DCMI_SynchroMode_Hardware;//DCMI_SynchroMode_Hardware
DCMI_InitStructure.DCMI_PCKPolarity =
DCMI_PCKPolarity_Rising;//DCMI_PCKPolarity_Falling
DCMI_InitStructure.DCMI_VSPolarity = DCMI_VSPolarity_Low;
//DCMI_VSPolarity_High
DCMI_InitStructure.DCMI_HSPolarity = DCMI_HSPolarity_Low;
//DCMI_HSPolarity_High
DCMI_InitStructure.DCMI_CaptureRate =
DCMI_CaptureRate_All_Frame;//DCMI_CaptureRate_1of2_Frame
DCMI_InitStructure.DCMI_ExtendedDataMode =
DCMI_ExtendedDataMode_8b;//

DCMI_Init(&DCMI_InitStructure);

DCMI_JPEGCmd(ENABLE);

```

```
NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_0);
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = DCMI_IRQn;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 1;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;
NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
```

```
DCMI_ITConfig(DCMI_IT_FRAME, ENABLE);
}
```

```
void MCO1_Init(void)
```

```
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;

    RCC_ClockSecuritySystemCmd(ENABLE);

    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOA, ENABLE);

    GPIO_PinAFConfig(GPIOA, GPIO_PinSource8, GPIO_AF_MCO); //Tact

    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_8;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
    GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
    GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP; //UP
    GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStructure);

    RCC_MCO1Config(RCC_MCO1Source_HSI, RCC_MCO1Div_1); // 16MHZ
}
```

```

void DCMI_0V7670_PWDN_Init(void) // NOT USING !!!
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;

    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOA, ENABLE);

    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_2;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_OUT;
    GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
    GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;
    GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);
    /*PWDN*/
    GPIO_ResetBits(GPIOA, GPIO_Pin_2);
    Delay_ms(10);
    GPIO_SetBits(GPIOA, GPIO_Pin_2);
}

```

```

void OV760_DMA_Init(void)
{
    DMA_InitTypeDef DMA_InitStructure;
    NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;

    /* Configures the DMA2 to transfer Data from DCMI to memory
    *****/
    /* Enable DMA2 clock */
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_DMA2, ENABLE);

    /* DMA2 Stream1 Configuration */
    DMA_DeInit(DMA2_Stream1);

```



```
DMA_InitStructure.DMA_Channel = DMA_Channel_1;
DMA_InitStructure.DMA_PeripheralBaseAddr = DCMI_DR_ADDRESS;
DMA_InitStructure.DMA_Memory0BaseAddr = (uint32_t)JpegBuffer;
DMA_InitStructure.DMA_DIR = DMA_DIR_PeripheralToMemory;
DMA_InitStructure.DMA_BufferSize = 1024*8; //1024*8*4=32768!!!
DMA_InitStructure.DMA_PeripheralInc = DMA_PeripheralInc_Disable;
DMA_InitStructure.DMA_MemoryInc = DMA_MemoryInc_Enable;
DMA_InitStructure.DMA_PeripheralDataSize = DMA_PeripheralDataSize_Word;
DMA_InitStructure.DMA_MemoryDataSize = DMA_MemoryDataSize_Byte;
DMA_InitStructure.DMA_Mode = DMA_Mode_Circular;
DMA_InitStructure.DMA_Priority = DMA_Priority_VeryHigh;
DMA_InitStructure.DMA_FIFOMode = DMA_FIFOMode_Enable;
DMA_InitStructure.DMA_FIFOThreshold = DMA_FIFOThreshold_Full;
DMA_InitStructure.DMA_MemoryBurst = DMA_MemoryBurst_Single;
DMA_InitStructure.DMA_PeripheralBurst = DMA_PeripheralBurst_Single;
```

```
DMA_Init(DMA2_Stream1, &DMA_InitStructure);
```

```
NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_0);
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = DMA2_Stream1_IRQn;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 0;
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;
NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
```

```
}
```

```
void OV7670_Init(void)
```

```
{
```

```
    SCCB_GPIO_Config();
```

```
    MCO1_Init();
```

```

    OV7670_DCMI_Config();
    OV7670_DMA_Init();
    OV7670_Reset();
    Delay_ms(0xffff);
}

```

```

void OV7670_Reset(void)
{
    DCMI_SingleRandomWrite(OV7670_DSP_RA_DLMT, 0x01);
    DCMI_SingleRandomWrite(OV7670_SENSOR_COM7, 0x80);
}

```

```

uint8_t DCMI_OV7670_ReadID(OV7670_IDTypeDef* OV7670ID)
{
    uint8_t temp;
    DCMI_SingleRandomWrite(OV7670_DSP_RA_DLMT, 0x01);
    if(DCMI_SingleRandomRead(OV7670_SENSOR_MIDH,&temp)!=0)
        return 0xff;
    OV7670ID->Manufacturer_ID1 = temp;
    if(DCMI_SingleRandomRead(OV670_SENSOR_MIDL,&temp)!=0)
        return 0xff;
    OV767ID->Manufacturer_ID2 = temp;
    if(DCMI_SingleRandomRead(OV7670_SENSOR_PIDH,&temp)!=0)
        return 0xff;
    OV7670ID->Version = temp;
    if(DCMI_SingleRandomRead(OV7670_SENSOR_PIDL,&temp)!=0)
        return 0xff;
    OV7670ID->PID = temp;

    return 0;
}

```

```
}
```

```
void OV7670_JPEGConfig(ImageFormat_TypeDef ImageFormat)
```

```
{
```

```
    uint32_t i;
```

```
    OV7670_Reset();
```

```
    Delay_ms(200);
```

```
    for(i=0; i<(sizeof(OV7670_JPEG_INIT)/2); i++)
```

```
    {
```

```
        DCMI_SingleRandomWrite(OV7670_JPEG_INIT[i][0],
```

```
OV7670_JPEG_INIT[i][1]);
```

```
        Delay_ms(1);
```

```
    }
```

```
    for(i=0; i<(sizeof(OV7670_YUV422)/2); i++)
```

```
    {
```

```
        DCMI_SingleRandomWrite(OV7670_YUV422[i][0], OV7670_YUV422[i][1]);
```

```
        Delay_ms(1);
```

```
    }
```

```
    DCMI_SingleRandomWrite(0xff, 0x01);
```

```
    DCMI_SingleRandomWrite(0x15, 0x00);
```

```
    for(i=0; i<(sizeof(OV7670_JPEG)/2); i++)
```

```
    {
```

```
        DCMI_SingleRandomWrite(OV7670_JPEG[i][0], OV7670_JPEG[i][1]);
```

```

        Delay_ms(1);
    }

    Delay_ms(100);

    switch(ImageFormat)
    {
        case JPEG_160x120:
        {
            for(i=0; i<(sizeof(OV7670_160x120_JPEG)/2); i++)
            {
                DCMI_SingleRandomWrite(OV7670_160x120_JPEG[i][0],
OV7670_160x120_JPEG[i][1]);
                Delay_ms(1);
            }
            break;
        }
        case JPEG_176x144:
        {
            for(i=0; i<(sizeof(OV7670_176x144_JPEG)/2); i++)
            {
                DCMI_SingleRandomWrite(OV7670_176x144_JPEG[i][0],
OV7670_176x144_JPEG[i][1]);
            }
            break;
        }
        case JPEG_320x240:
        {
            for(i=0; i<(sizeof(OV7670_320x240_JPEG)/2); i++)
            {

```

```

        DCMI_SingleRandomWrite(OV7670_320x240_JPEG[i][0],
OV7670_320x240_JPEG[i][1]);
        Delay_ms(1);
    }

    break;
}
case JPEG_352x288:
{
    for(i=0; i<(sizeof(OV7670_352x288_JPEG)/2); i++)
    {
        DCMI_SingleRandomWrite(OV7670_352x288_JPEG[i][0],
OV7670_352x288_JPEG[i][1]);
    }
    break;
}
default:
{
    for(i=0; i<(sizeof(OV7670_160x120_JPEG)/2); i++)
    {
        DCMI_SingleRandomWrite(OV7670_160x120_JPEG[i][0],
OV7670_160x120_JPEG[i][1]);
    }
    break;
}
}
}

```

```

void SCCB_WriteRegs(const uint8_t* pbuf)
{
    while(1)
    {

```

```

        if((*pbuf == 0) && (*(pbuf + 1) == 0))
        {
            break;
        }
        else
        {
            DCMI_SingleRandomWrite(*pbuf++, *pbuf++);
        }
    }
}

```

```

const static uint8_t OV7670_AUTOEXPOSURE_LEVEL0[] = // NOT USING !!!
{
    0xFF, 0x01, 0xFF,
    0x24, 0x20, 0xFF,
    0x25, 0x18, 0xFF,
    0x26, 0x60, 0xFF,
    0x00, 0x00, 0x00
};

```

```

const static uint8_t OV7670_AUTOEXPOSURE_LEVEL1[] = // NOT USING !!!
{
    0xFF, 0x01, 0xFF,
    0x24, 0x34, 0xFF,
    0x25, 0x1c, 0xFF,
    0x26, 0x70, 0xFF,
    0x00, 0x00, 0x00
};

```

```

const static uint8_t OV7670_AUTOEXPOSURE_LEVEL2[] =
{

```

```

        0xFF, 0x01, 0xFF,
        0x24, 0x3e, 0xFF,
        0x25, 0x38, 0xFF,
        0x26, 0x81, 0xFF,
        0x00, 0x00, 0x00
    };

    const static uint8_t OV7670_AUTOEXPOSURE_LEVEL3[] = // NOT USING !!!
    {
        0xFF, 0x01, 0xFF,
        0x24, 0x48, 0xFF,
        0x25, 0x40, 0xFF,
        0x26, 0x81, 0xFF,
        0x00, 0x00, 0x00
    };

    const static uint8_t OV7670_AUTOEXPOSURE_LEVEL4[] = // NOT USING !!!
    {
        0xFF, 0x01, 0xFF,
        0x24, 0x58, 0xFF,
        0x25, 0x50, 0xFF,
        0x26, 0x92, 0xFF,
        0x00, 0x00, 0x00
    };

    void OV7670_AutoExposure(uint8_t level)
    {
        switch(level)
        {
            case 0:
                SCCB_WriteRegs(OV7670_AUTOEXPOSURE_LEVEL0);
                break;
            case 1:

```

```

        SCCB_WriteRegs(OV7670_AUTOEXPOSURE_LEVEL1);
        break;
    case 2:

        SCCB_WriteRegs(OV7670_AUTOEXPOSURE_LEVEL2);//320_240
        break;
    case 3:
        SCCB_WriteRegs(OV7670_AUTOEXPOSURE_LEVEL3);
        break;
    case 4:
        SCCB_WriteRegs(OV7670_AUTOEXPOSURE_LEVEL4);
        break;
    default:
        SCCB_WriteRegs(OV7670_AUTOEXPOSURE_LEVEL0);
        break;
    }

}

```

```

void OV7670_BrightnessConfig(uint8_t Brightness)
{
    DCMI_SingleRandomWrite(0xff, 0x00);
    DCMI_SingleRandomWrite(0x7c, 0x00);
    DCMI_SingleRandomWrite(0x7d, 0x04);
    DCMI_SingleRandomWrite(0x7c, 0x09);
    DCMI_SingleRandomWrite(0x7d, Brightness);
    DCMI_SingleRandomWrite(0x7d, 0x00);
}

```

```

static void Delay(uint32_t nTime)

```



```
{  
    while(nTime--);  
}
```

```
static void Delay_ms(uint32_t nTime)  
{  
    while(nTime--)  
        {Delay(1000);}  
}
```

Додаток Д – Програма ініціалізації інтерфейсу UART

```
//#include "stm32f4xx_usart.h"
```

```
#include "usart.h"
```

```
void USART_NVIC_Config(void);
```

```
void USART3_Transmit(uint8_t ch_data)
```

```
{
```

```
    // Loop until the end of transmission
```

```
    while (USART_GetFlagStatus(USART3, USART_FLAG_TC) == RESET)
```

```
    {
```

```
        ;
```

```
    }
```

```
    USART_SendData(USART3, (uint8_t)ch_data);
```

```
}
```

```
void USART_Configuration(uint32_t baud)
```

```
{
```

```
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
```

```
    USART_InitTypeDef USART_InitStructure;
```

```
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(Open407V_USART_TX_GPIO_CLK,ENABLE);
```

```
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(Open407V_USART_RX_GPIO_CLK,ENABLE);
```

```
    RCC_APB1PeriphClockCmd(Open407V_USART_CLK,ENABLE);
```

```
    GPIO_PinAFConfig(Open407V_USART_TX_GPIO_PORT,
```

```
    Open407V_USART_TX_SOURCE, Open407V_USART_TX_AF);
```

```
    GPIO_PinAFConfig(Open407V_USART_RX_GPIO_PORT,
```

```
    Open407V_USART_RX_SOURCE, Open407V_USART_RX_AF);
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = Open407V_USART_TX_PIN;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;
```

```
GPIO_Init(Open407V_USART_TX_GPIO_PORT, &GPIO_InitStructure);
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = Open407V_USART_RX_PIN;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;
```

```
GPIO_Init(Open407V_USART_RX_GPIO_PORT, &GPIO_InitStructure);
```

```
USART_InitStructure.USART_BaudRate = baud;
```

```
USART_InitStructure.USART_WordLength = USART_WordLength_8b;
```

```
USART_InitStructure.USART_StopBits = USART_StopBits_2;
```

```
USART_InitStructure.USART_Parity = USART_Parity_No;
```

```
USART_InitStructure.USART_HardwareFlowControl =
```

```
USART_HardwareFlowControl_None;
```

```
USART_InitStructure.USART_Mode = USART_Mode_Rx | USART_Mode_Tx;
```

```
USART_Init(Open407V_USART, &USART_InitStructure);
```

```
USART_NVIC_Config();
```

```
USART_ITConfig(Open407V_USART, USART_IT_RXNE, ENABLE);
```

```
USART_Cmd(Open407V_USART, ENABLE);
```

```
}
```

```
void USART_NVIC_Config(void)
```

```
{  
    NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;  
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = Open407V_USART_IRQn;  
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0;  
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 0;  
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;  
    NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);  
}
```

**Додаток Е – Стаття для Міжнародної науково-технічної XIII конференції
молодих вчених, «Електроніка-2020», підсекція «Інформаційно-
обчислювальні засоби радіоелектронних систем»**



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Факультет електроніки
Комунальний позашкільний навчальний заклад
«Київська Мала академія наук учнівської молоді»
Громадська організація «Пані Наука»**

ПРОГРАМА

XIII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ «ЕЛЕКТРОНІКА-2020»

**15-16 квітня 2020 року
Україна, м. Київ**

10:00	Секція №3 «Інформаційно-обчислювальні засоби радіoeлектронних систем» Керівник секції – д.ф-м.н., проф. Редько І.В.
	1. Алдохін М.Д. МІНІ-МЕТЕОСТАНЦІЯ (МІНІАТЮРНИЙ ПРИСТРІЙ АВТОМАТИЧНОГО ВИМІРЮВАННЯ, ІНДИКАЦІЇ Й РЕЄСТРАЦІЇ КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА) Рекомендація: к.т.н., доц. Корнєв В.П.
	2. Цимбал О.В. МЕТОДИ КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ В ДЖЕРЕЛАХ ОПОРНОЇ НАПРУГИ ІНТЕГРАЛЬНИХ МІКРОСХЕМ
	3. Острянко О.В. ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ АВТОМОБІЛЯ
	4. Довженко Б.І. ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ШТУЧНОГО МІКРОКЛІМАТУ ДЛЯ ТВАРИН В ТЕРАРІУМІ
	5. Тимошенко С.В. ЕЛЕКТРОННЕ КЕРУВАННЯ ПЛАТФОРМОЮ З КОРИСНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ
	6. Накоренко А.А. УНІВЕРСАЛЬНИЙ КАБЕЛЬНИЙ ТЕСТЕР
	7. Кудлай С.В., Зелевич М.О. КОНЦЕПТОМОНАДНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРОГРАМУВАННЯ Рекомендація: д.фіз-мат.н., проф. Редько І.В., к.т.н., доц. Яганов П.О.
	11. Пономаренко Б.А. БЛОК ВІДОБРАЖЕННЯ ДАНИХ З ВІДЕОКАМЕРИ

Вміст статті наведений нижче.

Блок відображення даних з відеокамери

Анотація—В роботі вирішується задача створення блоку відображення даних, які надходять з цифрової відеокамери. В якості відеомодуль обрано OV7670, обґрунтовано вибір формату кадрів та їх кодування. Розглянута можливість реалізації блоку відображення даних з використанням плати налагодження STM32F429ZI та запропонована структурна схема пристрою. Для візуалізації відеоданих у прототипі пристрою використано LCD дисплей та запропоновано додавання до структури пристрою мікроконтролера з Wi-Fi прийомо-передавачем ESP8266, що дозволить реалізувати можливість віддаленого підключення до відеокамери та архівування відеопотоку для перегляду у будь-який час.

Ключові слова — відеокамера; мікроконтролер; передача даних; I2C; DMA; зображення.

ВСТУП

Для вирішення задач обробки зображень у різноманітних сферах застосування (від найпростіших систем відеоспостереження до складних системи розпізнавання об'єктів та жестів) необхідно, перш за все, отримати відеопотік з відповідних апаратних засобів. Для формування відеопотоку та передачі його для подальшої обробки чи візуалізації існує велика кількість аналогових та цифрових відеокамер. Сучасні цифрові камери зазвичай мають прийомо-передавач для підключення до мереж передачі даних (3 або 4G, Wi-Fi, Ethernet) [1], підтримують стек протоколів TCP/IP, за що отримали назву IP-відеокамер. Перевагами IP-відеокамер є висока якість відтворюваного зображення, компактність, підтримка віддаленого підключення для перегляду відеопотоку шляхом реалізації в їх програмній частині веб-серверу. Проте дані камери мають і ряд недоліків – висока ціна, апаратне зависання. Частини цих недоліків позбавлені достатньо прості аналогові відеокамери. Але їх функціонал досить обмежений (зазвичай, забезпечують тільки передачу відеосигналу). Взнявши за приклад опис роботи аналогічної системи, розглянутий у статті [2], де представлена методика налаштування та впровадження цієї системи в роботу, можна сформулювати мету роботи. Метою даної роботи є створення блоку відображення даних з цифрової камери, який дозволить реалізувати функціонал, характерний для IP-відеокамер.

I. ВИБІР СКЛАДОВИХ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ БЛОКУ ВІДБРАЖЕННЯ ДАНИХ

При побудові найпростіших систем відеоспостереження на перший план виходить питання вартості компонентів, які будуть використані в системі. У якості відеокамер у таких системах можуть бути використані цифрові камери, підключені до блоку відображення даних, який буде виконувати функцію перетворення аналогового відеосигналу у цифрову форму та подальшу його візуалізацію або передачу на віддалений вузол. На ринку існує велика кількість цифрових відеомодулів. Для створення прототипу пристрою будемо використовувати відеомодуль OV7670 та реалізуємо блок відображення даних з використанням плати налагодження STM32F429ZI.

II. ОСОБЛИВОСТІ ВІДЕОМОДУЛЯ OV7670

Відеомодуль OV7670 [3] підтримує декілька режимів роботи та ряд налаштувань. Наприклад, можна використати різні формати кадрів, такі як: VGA (640×480 пікселів), QVGA (320×240 пікселів), CIF (352×240 пікселів), QCIF (176×144 пікселів). Відповідно, різні роздільні здатності зображення вимагатимуть і різної швидкості передачі відеокadrів. В даній роботі використано формат кадру VGA з максимальною роздільною здатністю 640 x 480 пікселів, для якої доцільно використати швидкість передачі 30 кадрів в секунду [4]. Виробником модуля OV7670 передбачена можливість його підключення до мікроконтролера по інтерфейсу I2C. Призначення контактів роз'єму для зв'язку з мікроконтролером зображено на Рис. 1.

VDD	GND
SDIOC	SDIOD
VSYNC	HREF
PCLK	XCLK
D7	D6
D5	D4
D3	D2
D1	D0
Cброс	PWDN

Рис. 1 Роз'єми модуля OV7670

Модуль використовує синхроімпульси по кадрах VSYNC, по рядках HREF та по пікселях PCLK (тактовий імпульс видачі байта з паралельного порту D7-D0). Дані кожного з пікселів, які являють собою інформацію про його колір передаються по восьмирозрядному паралельному інтерфейсу D7-D0, який при цьому тактується по PCLK. VDD – відповідає за живлення модуля, GND – за землю. SDIOC – вхід тактового сигналу послідовного інтерфейсу I2C керування камерою. SDIOD – вхід/вихід інформаційного сигналу послідовного інтерфейсу I2C керування камерою. Для керування генератором внутрішніх і зовнішніх сигналів при захопленні відеопотоку використовується сигнал XCLK. Інтерфейс I2C дозволяє зчитувати та записувати дані тільки з регістрів управління і контролю. Це впливає не тільки на захоплення кадрів, але і на деякі параметри зображення. Яскравість, наприклад, при автопідстроюванні буде змінюватися з кожним кадром і, якщо кадри будуть зчитуватися на швидкості 0,2 fps, то нормальний рівень яскравості встановиться тільки через декілька хвилин [5].

Варто зазначити, що розмір одного пікселя може варіюватися залежно від кодування – для кодування RGB дані про піксель зберігаються у двох байтах, для кодування YCbCr – кількість байт залежить від кодування RGB, адже для цього формату кодування буде відбуватися перетворення RGB в YCbCr. Це може привести до помилок, тому цей формат краще не використовувати.

Кодування RGB представлене у трьох варіантах – RGB565, RGB555, RGB444. Цифри означають кількість біт, виділених на червоний, синій та зелений кольори. При передачі одного пікселя через восьмирозрядний паралельний порт D7-D0 розстановка кодових бітів буде наступною – Рис. 2, Рис. 3, Рис. 4. Для подальшої реалізації прототипу пристрою будемо використовувати кольорову модель RGB565 та роздільну здатність 320×240 пікселів (QVGA).

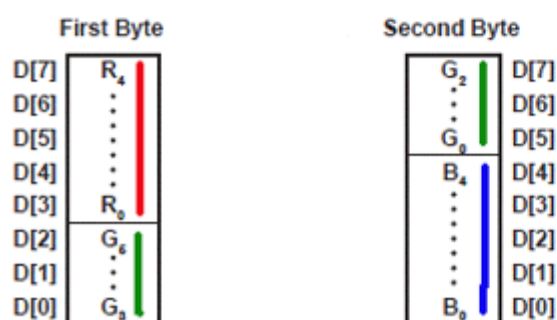


Рис. 2 Розстановка бітів для RGB565



Рис. 3 Розстановка бітів для RGB555



Рис. 4 Розстановка бітів для RGB444

III. СТРУКТУРНА СХЕМА БЛОКУ ВІДОБРАЖЕННЯ ДАНИХ З ВІДЕОКАМЕРИ

Як було зазначено вище, в якості мікроконтролера, який буде керувати відеомодулем будемо використовувати [6]. Це плата налагодження з лінійки STM32 NUCLEO-144 на основі мікроконтролера з ядром ARM Cortex-M4F з підтримкою Arduino, ST Zio і Morpho.

Плата налагодження має наступні характеристики та функціонал:

- встановлено мікроконтролер STM32F429ZIT6 в 144-вивідному корпусі;
- ядро ARM Cortex-M4, робоча частота до 180 МГц, модуль обчислень з плаваючою точкою;
- 16-канальний DMA контролер;
- Flash-пам'ять 2 мегабайт, ОЗУ 256 кілобайт;
- контролер зовнішньої пам'яті;
- вбудований контролер LCD-TFT;
- паралельний інтерфейс для підключення РК дисплея;
- три багатоканальних 12-розрядних АЦП;
- два 12-розрядних ЦАП;
- комунікаційні інтерфейси: 3×I2C, 4×USART, 6×SPI, 2×I2S, SAI;
- 2×CAN, USB 2.0, 10/100 Ethernet MAC;
- інтерфейс підключення камери;
- можливість підключення плат розширення Arduino, ST Morpho, ST Zio;
- вбудований програматор ST-LINK / V2;

- інтерфейс і порт Ethernet (IEEE-802.3-2002);
- програмні бібліотеки та інструменти HAL;
- підтримка середовищ розробки IAR EWARM, KEI MDK-ARM, GCC, AC6 SW4STM32, Atollic TrueStudio.

Структурна схема підключення модуля камери до мікроконтролера наведена на Рис. 5.

Керування роботою камери відбувається через інтерфейс I2C [7] (SDIOC та SDIOD), тактування відбувається за допомогою сигналу XCLK. Відповідно, дані будуть передаватися на мікроконтролер через восьмирозрядну шину D[0..7], яка об'єднує D7-D0. Крім цього, для синхронізації по кадрах та по рядках в мікроконтролер будуть передаватися сигнали VSYNC, HREF. Сигнал HREF являє собою горизонтальну рамкову синхронізацію, де логічний рівень (H) цього сигналу являє собою рівно одну лінію відсканованого зображення, а сигнал VSYNC являє собою вертикальну синхронізацію кадру, де логічний нуль (L) являє собою лише один кадр.

Саме зображення обробляється аналоговим процесором і проходить ряд перетворень для подальшого представлення у вигляді цифрових значень. Після цієї обробки воно надходить на вихід паралельного інтерфейсу. Таким чином, захоплення кадрів відбувається весь час, поки подається тактовий сигнал XCLK. Чим його частота буде вищою, тим швидше будуть захоплюватися і оброблятися кадри.

Шина DCMi [8] забезпечує передачу даних в контролер DMA. Дані довжиною в один рядок записуються в буфер. Як тільки буфер буде заповнено (отримано рядок даних) дані з буфера через шину SPI буде передано на LCD дисплей для їх візуалізації. Коли тактовий сигнал подається на XCLK, камера негайно генерує сигнали синхронізації PCLK, HREF та VSYNC та сигнали даних D7-D0.

Для реалізації передачі даних через шину DCMi необхідно задати набір параметрів. Основними параметрами такої конфігурації будуть вибір правильного каналу DMA, встановлення режиму передачі між периферією та пам'яттю, адреса джерела потоку даних (регістр даних DCMi), кінцева адреса пам'яті, де мають бути дані. Також можна скористатися такою корисною функцією контролера DMA, як автоматичне перетворення між типами даних (Word, HalfWord, Byte). У нашому випадку ми будемо використовувати перетворення дані з 32-бітного регістру DCMi в простір пам'яті 16-біт (відповідно до обраного формату RGB565).

З мікроконтролера зображення на дисплей буде передаватися за допомогою шини SPI [9].

Ця шина з'єднана з платою ILI9341, яка і буде виступати в ролі LCD екрану [10]. Ініціалізація дисплею з платою реалізована завдяки модифікаціям офіційних бібліотек STMicroelectronics.

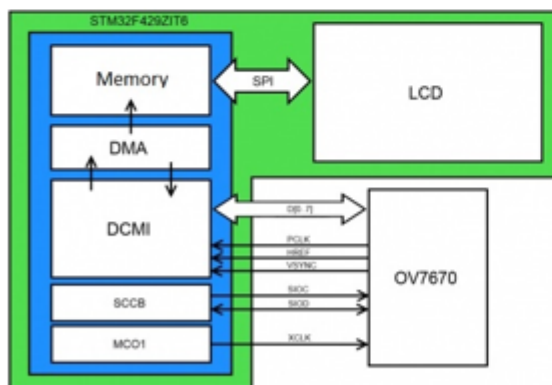


Рис. 5 Схема підключення камери та дисплею до мікроконтролера

IV. ВИВЕДЕННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ДАНИХ

Візуалізацію потоку даних можна реалізувати різними методами, залежно від поставленої задачі. Для створення прототипу було вибрано LCD дисплей. У такій конфігурації можна

реалізувати блок відображення даних з відеокamera у реальному часі з мінімальною затримкою у відтворенні без застосування додаткових пристроїв візуалізації (монітор, смартфон, ноутбук, тощо). Для повноцінної реалізації IP – відеокamera можна використати наявний на платі налагодження інтерфейс Ethernet, або додати до структури пристрою Wi-Fi прийомо-передавач [11]. В якості Wi-Fi модуля можна використати дуже популярний для роботи з Wi-Fi прийомо-передавачем мікроконтролер ESP8266 [12]. Даний модуль буде отримувати дані з мікроконтролера через інтерфейс UART [13], після чого відсилатиме пакети відеопотоку через Wi-Fi мережу на відділений вузол, у якості якого може виступати будь-який персональний пристрій (смартфон, ноутбук) або сервер відеотрансляції. Такий підхід дозволяє реалізувати можливість відділеного підключення до відеокamera та архівування відеопотоку для перегляду у будь-який час.

ВИСНОВКИ

Показана можливість апаратної реалізації блоку відображення даних з модуля цифрової відеокamera OV7670 на базі мікроконтролера STM32F429ZI. Розглянуто особливості підключення модуля відеокamera, її синхронізації та передачі відеоданих через шину DCMI. Визначено параметри для передачі даних з використанням режиму DMA. Для візуалізації відео у прототипі пристрою запропоновано використання LCD дисплею, підключеного до мікроконтролера за допомогою інтерфейсу SPI.

Для повноцінної реалізації функціоналу, характерного для IP – відеокamera, необхідно до апаратної частини додати відповідні прийомо-передавачі (наприклад, Wi-Fi) та розробити додаткове програмне забезпечення, яке буде підтримувати стек протоколів TCP/IP та реалізовувати вбудований веб-сервер.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] “Standarty, protokoly i tekhnologii svyazi dlya podklyucheniya IoT-ustroystv [Standards, protocols and communication technologies for connecting IoT devices,” 2016. [Online]. Available: <https://iot.ru/promyshlennost/standarty-protokoly-i-tekhnologii-svyazi-dlya-podklyucheniya-iot-ustroystv>.
- [2] P. Pandey and V. Laxmi, “Design of low cost and power efficient Wireless vision Sensor for surveillance and monitoring,” in *2016 International Conference on Computation of Power, Energy Information and Communication (ICCPEIC)*, 2016, pp. 113–117.
- [3] “Videokamera OV7670. Vvedeniye [Video camera OV7670. Introduction],” 2013. [Online]. Available: <http://www.embed.com.ua/raznoe/videokamera-ov7670-vvedenie/>.
- [4] “OV7670/OV7171 CMOS VGA (640X480) CameraChip with OmniPixel Technology.” OmniVision Technologies Inc. [Online]. Available: <https://www.ovti.nl/docs/OV7670.pdf>.
- [5] “Modul’ videokamery OV7670 [Video camera module OV7670].” [Online]. Available: <http://shop.alisa.org/?product=modul-videokamery-ov7670>.
- [6] “RM0090 Reference manual. STM32F405/415, STM32F407/417, STM32F427/437 and STM32F429/439 advanced Arm-based 32-bit MCUs,” 2019. [Online]. Available: <https://tinyurl.com/vv4qdmfw>.
- [7] “I2C Info – I2C Bus, Interface and Protocol.” [Online]. Available: <https://i2c.info>.
- [8] P. Machala, “Kamera OV7670 se STM periferii DCMI,” 2015. [Online]. Available: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/MPOA/2014/cam-ov7670>.
- [9] “Posledovatel’nyy interfeys SPI (3-wire) [Serial Interface SPI (3-wire)].” [Online]. Available: <http://www.gaw.ru/html/cgi/bxt/interface/spi/index.htm>.
- [10] T. Lee, “What Is Better: TFT or LCD?” [Online]. Available: <https://www.techwalla.com/articles/what-is-better-tft-or-lcd>.
- [11] “IP kamera + stm32 + wi-fi [IP camera + STM32 + Wi-Fi].” [Online]. Available: <http://forum.easvelectronics.ru/viewtopic.php?f=14&t=6904>.
- [12] P. Thangavel, “Connecting ESP8266 with STM32F103C8: Creating a Webserver,” 2018. [Online]. Available: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-esp8266-with-stm32f103c8-stm32-to-create-a-webserver>.
- [13] “BASICS OF UART COMMUNICATION,” *Circuit Basics*. [Online]. Available: <https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>.

UDC 621.397.424.2

Video Camera Data Display Unit

Abstract—Video camera module are one of the most important components in designing and implementing image/video processing systems. Such kind of systems are widely used all over the world for a long period of time. Due to using in surveillance and guard, they have to have very small size. The aim of this article are following: present method for designing working prototype of a system, that displays data, that is transmitted from digital video camera module; solve the problems and issue, that shows up during projection. In the first chapter explains the reasons of creating video camera data display unit. In the second chapter you can see the process of choosing components, needed for creating prototype, such as microcontroller (STM32F429ZI) and video camera module (OV7670). This module provides visual information, captioned and transmitted to user interface. There are few interesting challenges about choosing OV7670 settings, like frame format and RGB coding. They were questioned and chosen in order to create working and functional prototype. In chapter three are listed detailed theoretical information about features of chosen video camera module, such as purpose of every contact from module, bits placement for RGB coding, and why that is so important in project. In the fourth chapter described block diagram of device, which is projected. Principle of work of projecting system also is given here. You can read there explaining the need for using such communication protocols as I2C, SPI and DCMI bus, that is used very often with video camera modules. Explained reasons of using DMA in the system and short instructions for configuring parameters of DMA. In chapter five described possibility of using different interfaces for transmitting output data to the user – such as Wi-Fi transmitting-receiving technology, based on TCP/IP protocol. It can help in improving projected system to an independent product, which can replicate full-fledged IP camera. Literary data analysis is carried out. It contains examples of similar systems and their detailed descriptions. Some of these details were used in creating both article and prototype. In conclusion, this article shows opportunities for hardware realization of video camera data display unit, based on OV7670 module and STM32F429ZI microcontroller. The features of connecting the video camera module, its synchronization and data transmission via the DCMI bus are considered. The parameters for data transmission, using DMA mode are defined. To visualize the video in the device prototype, was suggested LCD display, connected via the SPI bus. For full designed IP camera, it is necessary to add transceivers (like Wi-Fi) to the hardware and develop software to support the TCP / IP protocol, needed for embedded Web-server realization. Designed hardware and software of video camera data display unit gives a clear representation of all main steps, needed to implement this system.

Keywords – video camera module; microcontroller; data transmission; I2C; DMA; picture.

Додаток Є – Блок відображення даних з відеокамери. Перелік елементів

Додаток Ж – Плата. Специфікація